



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **103262** (13) **C2**
(51) МПК*F03D 7/04* (2006.01)*F03D 9/02* (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

(21) Номер заявки: а 2012 05125	(72) Винахідник(и): Щур Ігор Зенонович (UA), Щур Всеволод Ігоревич (UA)
(22) Дата подання заявки: 25.04.2012	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА", вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.09.2013	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: RU 2176329 C1, 27.11.2001 RU 2239722 C2, 10.11.2004 JP 2008274882 A, 13.11.2008 RU 2015412 C1, 30.06.1994 RU 2338924 C2, 20.11.2008 RU 2319038 C1, 10.03.2008 CN 1871433 A, 29.11.2006 WO 2009/016508 A2, 05.02.2009
(41) Публікація відомостей про заявку: 10.10.2012, Бюл.№ 19	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.09.2013, Бюл.№ 18	

(54) СПОСІБ ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІТРОКОЛЕСА ТА СИСТЕМА ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі альтернативної енергетики і може бути використаний у автономних вітроенергоустановках для забезпечення споживача електричною енергією та іншими корисними видами енергії, наприклад тепловою. Запропонований спосіб перетворення механічної енергії вітроколеса, з'єданого із ротором нерегульованого генератора змінного струму, базується на тому, що частину електроенергії з обмоток статора генератора передають до споживачів електроенергії, а частину електроенергії перетворюють в інший вид корисної енергії та накопичують у відповідному акумулюючому пристрої шляхом підключення до фаз генератора за сигналами про частоту його обертання відповідного перетворювача електроенергії в корисну енергію іншого виду, наприклад теплову. Згідно з винаходом, напругу генератора випрямляють, а електроенергію накопичують в акумуляторній батареї, причому напруги акумуляторної батареї та генератора вибирають у співвідношенні, при якому акумуляторна батарея заряджається від випрямленої напруги генератора лише при високих швидкостях вітру. При низьких та середніх швидкостях вітру генератор навантажують періодично шляхом підключення та відмикання нерегульованого перетворювача електроенергії в енергію іншого виду з забезпеченням роботи вітроколеса в околі оптимальних для конкретної швидкості вітру частот обертання. Запропонований спосіб реалізується системою керування, яка використовує інформацію лише про частоту обертання генератора і струм заряду акумуляторної батареї та автоматично переходить з режиму періодичного підключення електронним багатофазним ключем до обмоток статора генератора термоелектричного нагрівача до режиму накопичення електроенергії в акумуляторній батареї і навпаки. При цьому в усіх режимах системою забезпечується оптимальне навантаження генератора при будь-яких швидкостях вітру та отримання при цьому максимальної кількості енергії від вітру. Технічний результат: зниження встановленої потужності автономної ВЕУ одночасно із забезпеченням її високої енергетичної ефективності, а також підвищення надійності роботи.

UA 103262 C2

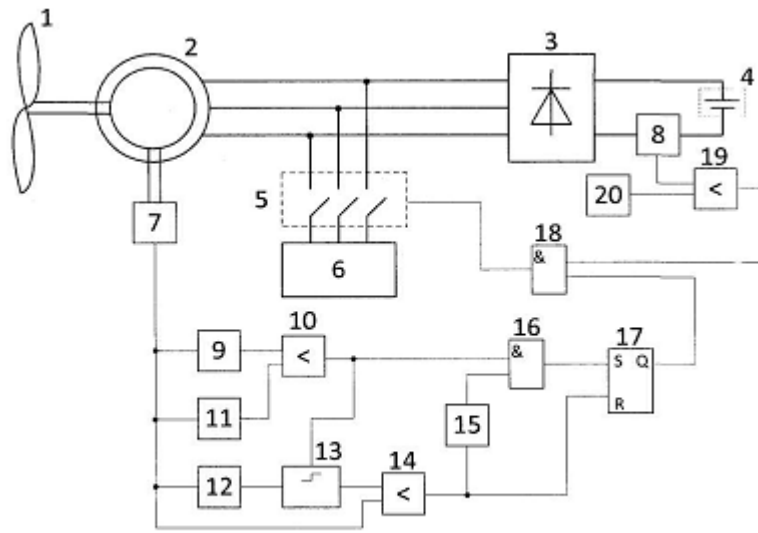


Fig. 1

Даний винахід належить до альтернативної енергетики і може бути використаний в автономних вітроенергоустановках (ВЕУ) для забезпечення споживача електричною енергією та іншими корисними видами енергії, наприклад тепловою.

Відомий спосіб перетворення механічної енергії вітроколеса (ВК) [Преобразование и использование ветровой энергии / О.Г. Денисенко, Г.А. Козловский, Л.П. Федосенко, А.И. Осадчий. - К.: Техніка, 1992. - 176 с.], яке з'єднано з ротором нерегульованого генератора змінного струму, найчастіше синхронного генератора з постійними магнітами, коли електричну енергію з обмоток статора генератора через некерований випрямляч накопичують в акумуляторній батареї. Такий спосіб є найпростішим в реалізації, високонадійним, а встановлена потужність та вартість електрообладнання - мінімальні.

Відомі ВЕУ [Вітроустановка FLAMINGO AERO, www.monolitbud.te.ua/flamingo.html], у яких реалізовано описаний вище спосіб.

Оскільки швидкість вітру, а відповідно і частота обертання ВК є непостійними, вихідна напруга генератора також змінюється, а акумуляторні батареї починають заряджатися тільки після перевищення їх напруги випрямленою напругою обмоток статора генератора. З метою недопущення перевантаження акумуляторних батарей при високих швидкостях вітру, їх напругу вибирають досить високою. Через це при низьких та середніх швидкостях вітру зарядження акумуляторних батарей можливе лише при розгоні вітроколеса до високих значень кутової швидкості, які є значно вищими від оптимальних, при яких коефіцієнт відбору потужності вітру є максимальним. Це є причиною низької енергетичної ефективності такого способу перетворення механічної енергії вітроколеса. З іншої сторони, при великих швидкостях вітру струм заряду акумуляторних батарей може бути занадто високим, що призводить до різкого зменшення часу експлуатації акумуляторних батарей.

Вказану проблему вирішено у способі перетворення механічної енергії ВК та системі для його реалізації [Патент RU 2239722. Способ преобразования механической энергии ветроколеса в электрическую энергию аккумуляторной батареи и система для его реализации / Е.И. Медведев, Е.Н. Ковинев, А.Е. Магид и др. Опубл. 10.11.2004], за яким випрямлену напругу генератора передають в акумуляторну батарею не безпосередньо, а після регулювання її величини імпульсним перетворювачем постійної напруги (DC-DC перетворювачем), який підвищує випрямлену напругу генератора при низьких та середніх швидкостях вітру до такої величини, щоб зарядження акумуляторної батареї створило оптимальне навантаження генератора та забезпечило цим оптимальну частоту обертання ВК. Також для забезпечення високого ККД перетворення енергії при цьому способі використовують синхронний генератор з керованим збудженням.

Реалізація вказаного способу перетворення механічної енергії ВК в системі ВЕУ дає змогу забезпечити високу її енергетичну ефективність, проте підвищена встановлена потужність додаткового обладнання та складність керування збільшують вартість такої установки, а також зменшують її надійність.

Найближчим до вирішення, яке пропонується, за технічною суттю та результатами, що досягаються, є спосіб перетворення механічної енергії ВК, з'єданого із ротором нерегульованого генератора змінного струму, коли частину електроенергії з обмоток статора генератора передають до споживачів електроенергії, а частину електроенергії перетворюють в інший вид корисної енергії та накопичують у відповідному акумуляуючому пристрої шляхом підключення до фаз генератора за сигналами про частоту його обертання чи частоту його напруги відповідного перетворювача електроенергії в корисну енергію іншого виду [Патент RU 2176329. Способ преобразования энергии / А.Н. Дашков, В.В. Тарарако. Опубл. 27.11.2001]. В описі патенту представлено електричну схему вітроенергетичної установки, в якій реалізовано вказаний спосіб. Корисною енергією є, наприклад, тепла енергія, яку накопичують в теплоакумуляуючому пристрої шляхом підключення нагрівальних елементів до фаз генератора електронними ключами, які керуються сигналами про частоту обертання генератора чи частоту його напруги.

Однак, цей спосіб перетворення механічної енергії ВК та система для його реалізації характеризуються складністю керування, пов'язаною з регулюванням потужності, що передається теплоакумуляуючому пристрою, шляхом перемикання великої кількості електронних ключів та плавною зміною віддалі між електродами цього пристрою. Все це збільшує встановлену потужність необхідного обладнання, його вартість та знижує надійність роботи системи перетворення механічної енергії вітроколеса, що в результаті призводить до збільшення терміну окупності автономної ВЕУ, чим стримується розвиток альтернативної енергетики. Крім того, несиметричне навантаження фаз генератора змінного струму, викликане ввімкненням окремих ключів, приводить до збільшення втрат енергії в генераторі.

В основу даного винаходу поставлена задача знизити встановлену потужність та вартість обладнання автономної БЕУ одночасно із забезпеченням її високої енергетичної ефективності, а також підвищити надійність її роботи за рахунок використання нового способу перетворення механічної енергії вітроколеса та системи для його реалізації.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі перетворення механічної енергії ВК, з'єданого із ротором нерегульованого генератора змінного струму, коли частину електроенергії з обмоток статора генератора передають до споживачів електроенергії, а частину електроенергії перетворюють в інший вид корисної енергії та накопичують у відповідному акумулюючому пристрої шляхом підключення до фаз генератора за сигналами про частоту його обертання чи частоту його напруги відповідного перетворювача електроенергії в енергію іншого виду, згідно з винаходом, напругу генератора випрямляють і прикладають до акумуляторної батареї, в якій накопичують електроенергію, причому напруги акумуляторної батареї та генератора вибирають у співвідношенні, при якому акумуляторну батарею заряджають від випрямленої напруги генератора лише при високих швидкостях вітру, а при низьких та середніх швидкостях вітру генератор навантажують періодично шляхом підключення та відключення нерегульованого перетворювача електроенергії в енергію іншого виду з забезпеченням роботи вітроколеса в околі оптимальних для конкретної швидкості вітру частот обертання.

Як відомо, потужність та крутний момент вітроколеса (ВК) під дією вітру зі швидкістю V_B визначаються відповідно наступними рівняннями:

$$P_{BK} = 0,5\rho_n A C_p(\lambda) V_B^3, \quad (1)$$

$$M_{BK} = 0,5\rho_n A R \frac{C_p(\lambda)}{\lambda} V_B^2, \quad (2)$$

де ρ_n - густина повітря; A - площа омивання ВК; $C_p(\lambda)$ - коефіцієнт потужності ВК; $\lambda = \omega R / V_B$ - швидкохідність ВК; ω - кутова швидкість ВК; R - радіус ВК.

Оскільки для кожного ВК характерною є екстремальна залежність $C_p(\lambda)$ (див. фіг. 3), то функції $P_{BP}(\omega)$ і $M_{BP}(\omega)$ за різних швидкостей вітру теж мають екстремуми при конкретних, але різних кутових швидкостях ВК. З метою відбору максимальної потужності від вітру, електричне навантаження генератора БЕУ повинно бути таким, при якому досягається оптимальна кутова швидкість ВК $\omega_{opt} = \lambda_{opt} V_B / r$ - забезпечується робота в точці максимального відбору потужності (ТМВП). Коли нерегульований генератор БЕУ, наприклад синхронний генератор з постійними магнітами, який має високий ККД, навантажений на акумуляторну батарею через нерегульований випрямляч (діодний міст), то робота в ТМВП забезпечується лише при одній швидкості вітру. Щоб забезпечити хоча б якийсь заряд акумуляторної батареї при низьких швидкостях вітру, ВК повинно набрати достатню кутову швидкість, і при цьому робоча точка ВК зміщується в сторону $\lambda > \lambda_{opt}$. При високих швидкостях вітру - навпаки, $\lambda < \lambda_{opt}$. В обох випадках енергетична ефективність БЕУ суттєво знижується, що особливо погано у випадку низько швидкісних вітрів, коли потужність вітру є малою.

Запропонований спосіб перетворення механічної енергії ВК передбачає таке співвідношення напруг акумуляторної батареї та генератора, щоб БЕУ працювала в ТМВП при швидкості вітру, вищій від середньої. Тоді акумуляторна батарея заряджатиметься від випрямленої напруги генератора лише при високих швидкостях вітру, і при цьому відхилення від ТМВП не матиме значного негативного впливу на енергетичну ефективність установки, оскільки потужність ВК згідно з (1) пропорційна кубові швидкості вітру. Навпаки, деяке зниження при цьому потужності, що відбирається від вітру, порівняно з максимально можливою матиме позитивний вплив на термін служби акумуляторної батареї завдяки зниженню струму її заряджання.

Для забезпечення високої енергетичної ефективності роботи БЕУ при низьких та середніх швидкостях вітру, коли акумуляторна батарея практично не заряджається, і ВК може розганятися до кутової швидкості, яка значно перевищує оптимальну, як і в прототипі, генератор навантажується шляхом підключення за сигналами про частоту його обертання чи частоту його напруги перетворювача електроенергії в корисну енергію іншого виду, наприклад, теплову, яка накопичується у відповідному акумулюючому пристрої. Проте, на відміну від прототипу, метою такого навантаження не є підтримання сталої кутової швидкості генератора, а оптимальної з точки зору відбору максимальної потужності вітру. У запропонованому способі, на відміну від прототипу, перетворювач електроенергії в іншу корисну енергію є нерегульованим, а навантаження генератора регулюють дискретно - шляхом періодичного підключення та відключення цього перетворювача за допомогою електронного ключа. При цьому система автоматичного керування забезпечує роботу ВК в околі оптимальних для конкретної швидкості

вітру частот обертання, тобто швидкохідність ВК осцилює навколо оптимального значення λ_{opt} - навантаження вмикається при λ_{on} , а вимикається при λ_{off} (див. фіг. 3). Це забезпечує високу енергетичну ефективність роботи ВЕУ та одночасно спрощує її конструкцію, суттєво зменшуючи встановлену потужність обладнання, його вартість та підвищуючи надійність роботи.

5 Використання як корисної енергії теплової енергії, яка є широко потрібною, наприклад, у побуті і може запасатися в тепловому, наприклад, водяному акумуляторі за допомогою нерегульованого теплоелектричного нагрівача є одним з найбільш ефективних, простих та дешевих вирішень.

10 Підключення та відключення перетворювача електроенергії в енергію іншого виду одним багатозафазним (за числом фаз генератора) електронним ключем, що керується системою, алгоритм роботи якої запрограмовано в мікроконтролері, забезпечує симетричне навантаження фаз генератора, а також одночасно простоту і надійність роботи.

15 Перехід від режиму періодичного навантаження генератора до режиму заряджання акумуляторної батареї найбільш доцільно та просто здійснювати за величиною струму акумуляторної батареї, а у випадку повного зарядження акумуляторної батареї система має працювати лише в режимі періодичного навантаження генератора та перетворення електроенергії в енергію іншого виду.

20 Запропонований спосіб перетворення механічної енергії ВК реалізується системою, що складається з послідовно з'єднаних нерегульованого генератора змінного струму, некерованого випрямляча змінної напруги в постійну та акумуляторної батареї, а також давача частоти обертання генератора і перетворювача електричної енергії в енергію іншого виду, який через електронний ключ підключається до обмоток статора генератора. Система керування містить давач струму акумуляторної батареї, а також низку електронних пристроїв - диференціатор, функціональний перетворювач, R-S-тригер, запам'ятовуючий пристрій, пристрій затримки, три порівняльні пристрої, два логічні елементи І, дільник, задавач струму акумуляторної батареї, причому входи диференціатора, функціонального перетворювача та дільника з'єднані з виходом давача частоти обертання генератора, до входів 1-го порівняльного пристрою під'єднані відповідно виходи диференціатора та функціонального перетворювача, а його вихід з'єднаний з одним зі входів 1-го логічного елемента І, другий вхід цього логічного елемента 30 через пристрій затримки під'єднаний до виходу 2-го порівняльного пристрою, а входи цього порівняльного пристрою з'єднані відповідно з виходами давача частоти обертання генератора та запам'ятовуючого пристрою, інформаційний вхід якого з'єднаний з виходом дільника, а керуючий вхід - з виходом 1-го порівняльного пристрою; S-вхід тригера з'єднаний з виходом 1-го логічного елемента І, R-вхід - з виходом 2-го порівняльного пристрою, а Q-вихід - з одним зі входів 2-го логічного елемента І, вихід якого з'єднаний зі входом електронного ключа, а другий вхід - з виходом 3-го порівняльного пристрою, входи якого з'єднані відповідно з виходами давача та задавача струму акумуляторної батареї.

Винахід пояснюється кресленнями, серед яких:

фіг. 1 відображає функціональну схему системи перетворення механічної енергії ВК;

40 фіг. 2 відображає додаткову частину системи керування, яка реалізує запропонований спосіб перетворення механічної енергії ВК;

фіг. 3 зображає типову залежність коефіцієнта потужності ВК від його швидкохідності;

фіг. 4 зображає типові залежності моменту, що розвиває ВК, при різних швидкостях вітру від кутової швидкості ВК;

45 фіг. 5 зображає типову задану залежність кутового прискорення від кутової швидкості генератора в момент ввімкнення перетворювача електроенергії в енергію іншого виду;

фіг. 6 представляє осцилограми, отримані в результаті імітаційного комп'ютерного симулювання роботи запропонованої системи перетворення механічної енергії ВК.

50 На функціональній схемі системи, яка реалізує запропонований спосіб перетворення механічної енергії ВК, (фіг. 1) позначено: 1 - вітроколесо, 2 - нерегульований генератор змінного струму, 3 - некерований випрямляч змінної напруги в постійну, 4 - акумуляторна батарея, 5 - електронний ключ, 6 - перетворювач електричної енергії в енергію іншого виду (теплоелектричний нагрівач), 7 - давач частоти обертання генератора, 8 - давач струму акумуляторної батареї, 9 - диференціатор, 10 - 1-й порівняльний пристрій, 11-функціональний перетворювач, 12 - дільник, 13 - запам'ятовуючий пристрій, 14 - 2-й порівняльний пристрій, 15 - пристрій затримки, 16 - 1-й логічний елемент І, 17 - R-S-тригер, 18 - 2-й логічний елемент І, 19 - 3-й порівняльний пристрій, 20 - задавач струму акумуляторної батареї. На додатковій частині системи керування (фіг. 2) позначено: 21 - контролер заряду акумуляторної батареї.

60 Спосіб перетворення механічної енергії вітроколеса 1 здійснюють так: частину електроенергії з обмоток статора нерегульованого генератора 2, передають до споживачів

електроенергії, випрямляючи напругу генератора 2 випрямлячем 3, а електроенергію накопичують в акумуляторній батареї 4, причому напруги акумуляторної батареї 4 та генератора 2 вибирають у співвідношенні, при якому акумуляторна батарея 4 заряджається від випрямленої напруги генератора 2 лише при високих швидкостях вітру. Частина електроенергії перетворюють в інший вид корисної енергії та накопичують у відповідному акумуляуючому пристрої шляхом періодичного підключення та відключення при низьких та середніх швидкостях вітру до фаз генератора 2 за сигналами про частоту його обертання чи частоту його напруги відповідного нерегульованого перетворювача 6 електроенергії в енергію іншого виду. При цьому генератор 2 навантажують з забезпеченням роботи вітроколеса в околі оптимальних для конкретної швидкості вітру частот обертання.

Іншою корисною енергією може бути теплова енергія, яку запасують у тепловому акумуляторі за допомогою нерегульованого електротеплового перетворювача 6.

Періодичне навантаження генератора 2 шляхом підключення та відключення перетворювача електроенергії в енергію іншого виду 6 здійснюють одним багатofазним електронним ключем 5 з допомогою мікроконтролера.

Момент підключення перетворювача електроенергії в енергію іншого виду 6 визначають за заданими і залежними від частоти обертання вітроколеса величинами його прискорення.

Перехід від режиму періодичного навантаження генератора 2 до режиму заряджання акумуляторної батареї 4 здійснюють за заданою величиною струму акумуляторної батареї, а також ступенем її зарядженості.

Система перетворення механічної енергії вітроколеса 1 містить з'єднаний з вітроколесом 1 нерегульований генератор змінного струму 2 з давачем частоти його обертання 7, нерегульований перетворювач електричної енергії в енергію іншого виду 6, який через електронний ключ 5 під'єднаний до обмоток статора генератора 2, акумуляторну батарею 4 з давачем її струму 8, з'єднану з генератором 2 через некерований випрямляч змінної напруги в постійну 3, а також низку електронних пристроїв - диференціатор 9, функціональний перетворювач 11, R-S-тригер 17, запам'ятовуючий пристрій 13, пристрій затримки 15, три порівняльні пристрої 10, 14 і 19, два логічні елементи І 16 та 18, дільник 12, задавач струму акумуляторної батареї 20. При цьому, входи диференціатора 9, функціонального перетворювача 11 та дільника 12 з'єднані з виходом давача частоти обертання 7 генератора 2, до входів 1-го порівняльного пристрою 10 під'єднані відповідно входи диференціатора 9 та функціонального перетворювача 11, а його вихід з'єднаний з одним зі входів 1-го логічного елемента І 16, другий вхід цього логічного елемента через пристрій затримки 15 під'єднаний до виходу 2-го порівняльного пристрою 14, а входи цього порівняльного пристрою з'єднані відповідно з виходами давача частоти обертання 7 генератора 2 та запам'ятовуючого пристрою 13, інформаційний вхід якого з'єднаний з виходом дільника 12, а керуючий вхід - з виходом 1-го порівняльного пристрою 10; S-вхід тригера з'єднаний з виходом 1-го логічного елемента І 16, R-вхід - з виходом 2-го порівняльного пристрою 14, а Q-вихід - з одним зі входів 2-го логічного елемента І 18, вихід якого з'єднаний зі входом електронного ключа 5, а другий вхід - з виходом 3-го порівняльного пристрою 19, входи якого з'єднані відповідно з виходами давача 8 та задавача 20 струму акумуляторної батареї 4.

Давач частоти обертання генератора 7 може бути електронним пристроєм визначення частоти обертання генератора 2 на підставі частоти його напруги.

Система додатково може містити (див. фіг. 2) контролер ступеня зарядженості акумуляторної батареї 21, а між виходом 3-го порівняльного пристрою 19 та входом 2-го логічного елемента І 18 включається перемикач 22 з можливістю розриву цього зв'язку та подачі на вхід 2-го логічного елемента І 18 логічної одиниці за вихідним сигналом контролера 21 про повний заряд акумуляторної батареї 4.

Система працює наступним чином. ВК 1 під дією вітру обертає ротор нерегульованого генератора змінного струму 2. Трифазна напруга з обмоток статора генератора випрямляється некерованим випрямлячем змінної напруги в постійну 3 і прикладається акумуляторної батареї 4. Заряджання акумуляторної батареї 4 струмом починається при перевищенні її напруги випрямленою напругою генератора, тобто при високих швидкостях вітру. При низьких та середніх швидкостях вітру відбір енергії від генератора 2 здійснюється теплоелектричним нагрівачем 6, який періодично підключається до обмоток статора генератора за допомогою електронного ключа 5, що спрацьовує за сигналами системи керування, алгоритм роботи якої базується на даних від давача частоти обертання генератора 2. Для пояснення алгоритму необхідно скористатися наступними закономірностями роботи ВЕУ.

На фіг. 4 показано типові залежності моменту, що розвиває ВК при трьох різних швидкостях вітру (3, 5 і 6 м/с), від кутової швидкості ВК, які побудовані за виразом (2) для ВЕУ потужністю 2

кВт. Лінії 1, 2 і 3 з'єднують точки кривих моменту, що відповідають значенням швидкохідності $\lambda_{\text{off}} = 3,02$, $\lambda_{\text{opt}} = 3,67$ і $\lambda_{\text{on}} = 4,46$ відповідно. Значення λ_{off} та λ_{on} отримані з кривої $C_P(\lambda)$ для $0,95C_{P_{\text{max}}}$ (див. фіг. 3). Для ідентифікації моменту часу ввімкнення навантаження генератора лише за сигналом про частоту обертання генератора, яка є рівною чи прямо пропорційною до частоти обертання ВК, запишемо рівняння обертового руху ВК за 2-м законом Ньютона:

$$J\varepsilon = M_{\text{BK}} - M_c, \quad (3)$$

де J - сумарний момент інерції ВК з ротором генератора, приведений до валу генератора; ε - кутове прискорення на валу генератора; M_c - момент опору рухові ВЕУ, викликаний сухим та в'язким тертям в опорах обертання.

Підставивши в рівняння (3) значення моменту ВК при λ_{on} та виразивши швидкість вітру через кутову швидкість та швидкохідність ВК, отримуємо рівняння, яке зв'язує значення кутового прискорення та кутової швидкості ВК в момент часу, що відповідає ввімкненню навантаження генератора за будь-якої швидкості вітру:

$$\varepsilon = \frac{1}{J} \left[0,5\rho_{\text{п}}AR^3 \frac{C_P(\lambda_{\text{on}})}{\lambda_{\text{on}}^3} \omega^2 - M_c \right]. \quad (4)$$

Типова залежність $\varepsilon(\omega)$ для ВК потужністю 2 кВт, розрахована за виразом (4), показана на фіг. 5.

При розгоні ВК без навантаження, знаходячи його кутове прискорення шляхом диференціювання вимірної кутової швидкості генератора $\varepsilon_1 = d\omega/dt$ та порівнюючи його з одержаним за виразом (4) на підставі тієї ж кутової швидкості генератора, отримуємо умову ввімкнення навантаження $\varepsilon_1 < \varepsilon$.

Умову для вимкнення навантаження можна наближено взяти як постійну частину від попереднього значення кутової швидкості ввімкнення навантаження: $\omega_{\text{off}} < \omega_{\text{on}}/k$, де $k = \lambda_{\text{on}}/\lambda_{\text{off}} = 0,677$. Це не внесе значної похибки у визначенні моменту часу вимкнення навантаження, оскільки тривалість навантаження не є великою, і за цей час середня швидкість вітру значно не зміниться.

На підставі запропонованого алгоритму система (фіг. 1) працює наступним чином.

Диференціатор 9 з незначною дискретою часу визначає похідну від частоти обертання генератора, тобто біжуче значення кутового прискорення ε_1 , і у 1-му порівняльному пристрої 10 порівнює його із значенням ε , отриманим у функціональному перетворювачі 11, в якому таблично задана залежність (4). У випадку виконання умови $\varepsilon_1 < \varepsilon$ надходить одиничний сигнал на перший вхід 1-го логічного елемента І 16 та на керуючий вхід запам'ятовуючого пристрою 13, який запам'ятає значення кутової швидкості генератора ω_{on} в цей момент, поділене на сталі значення k дільника 12. Оскільки у нормальному стані пристрій затримки 15 видає на виході одиничний сигнал, який надходить на другий вхід 1-го логічного елемента І 16, на виході останнього також появиться одиничний сигнал. Цей сигнал, надійшовши на S-вхід R-S-тригера 17, перекине його у одиничний стан (на Q-виході), який далі надходить на один зі входів 2-го логічного елемента І 18. Якщо струм заряду акумуляторної батареї 4, який контролюється давачем струму 8, не є більшим за значення задавача струму акумуляторної батареї 20, то на виході 3-го порівняльного пристрою 19 буде одиничний сигнал, який, надійшовши на інший вхід 2-го логічного елемента І 18, дає дозвіл на керування електронним ключем 5. Тому з переходом R-S-тригера 17 в одиничний стан електронний ключ 5 увімкне теплоелектричний нагрівач 6. Під дією створеного останнім навантаження частота обертання генератора почне падати, поки не досягне значення, збереженого у запам'ятовуючому пристрої 13. Тоді умова на 2-му порівняльному пристрої 14 справдиться, і на його виході появиться одиниця, яка, надійшовши на R-вхід R-S-тригера 17, перекине його в нульовий стан (на Q-виході), який закрий електронний ключ 5, що відімкне навантаження генератора. Також одиничний сигнал, що появиться на виході 2-го порівняльного пристрою 14, увімкне пристрій затримки 15, на виході якого появиться логічний нуль, який створить заборону увімкнення навантаження на заданий час затримки. Це здійснено з метою надання можливості набору частоти обертання ВК 1 після вимкнення навантаження та виключення ситуацій занадто частого спрацювання електронного ключа 6 в умовах вітрів з високою турбулентністю.

При великому вітрі частота обертання генератора 2 зростає, а відповідно і напруга в обмотках його статора, яка після випрямлення некерованим випрямлячем 3 перевищить напругу акумуляторної батареї 4, забезпечуючи її заряджання. У випадку перевищення струмом

заряду батареї значення задавача струму акумуляторної батареї 20 на виході 3-го порівняльного пристрою 19 з'явиться логічний нуль, який заблокує відкривання електронного ключа 5, забезпечуючи режим заряджання акумуляторної батареї. Таким чином відбувається перехід між режимами накопичення теплоти при низьких і середніх швидкостях вітру та електричної енергії - при високих.

Давачем частоти обертання генератора, крім традиційного пристрою, наприклад, оптичного енкодера, може служити електронний пристрій, що визначає частоту обертання генератора на підставі частоти його напруги. Алгоритм такого обчислення може бути теж реалізовано в мікроконтролері, до входу якого слід подати виміряну давачем напругу генератора змінного струму.

На фіг. 2 показано додаткову частину системи керування, у яку доцільно ввести контролер ступеня зарядженості акумуляторної батареї 21, який керує перемикачем 22, що ввімкнений у лінію, яка зв'язує вихід 3-го порівняльного пристрою 19 та вхід 2-го логічного елемента І 18. У випадку неповної зарядженості акумуляторної батареї 4 перемикач 22 замикає вказану лінію, і система працює, як описано вище. При повній зарядженості акумуляторної батареї за сигналом з контролера зарядженості 21 перемикач 22 розмикає цю лінію і подає логічну одиницю на вхід 2-го логічного елемента І 18 та дозволяє лише режим накопичення теплоти не залежно від швидкості вітру. При подальшому розряді акумуляторної батареї перемикач 19 повертається у вихідне положення, що дозволяє автоматично перемикати режими роботи ВЕУ в залежності від швидкості вітру.

Таким чином, завдяки чергуванню накопичення корисної енергії двох видів - електричної і теплової - запропонована система перетворення механічної енергії ВК забезпечує оптимальне навантаження генератора при будь-яких швидкостях вітру та отримання при цьому максимальної кількості енергії від вітру. Така комбінація накопичувачів енергії, у порівнянні з аналогами, дає змогу знизити встановлену ємність акумуляторних батарей, які є одним з найдорожчих та найменш надійних компонентів ВЕУ.

На фіг. 6 наведено результати імітаційного комп'ютерного симулювання роботи запропонованої системи перетворення механічної енергії ВК для ВЕУ потужністю 2 кВт. Як видно з отриманих осцилограм, в умовах змінної швидкості вітру (осцилограма а) ВЕУ працює то в режимі періодичного підключення теплоелектричного нагрівача для накопичення теплової енергії (інтервали часу 0...70, 250...350, 540...670 с), то в режимі заряджання акумуляторної батареї (інтервали часу 70...250, 670...800 с): кутова швидкість генератора (осцилограма б); момент генератора, зумовлений електричним навантаженням (осцилограма в); фазний струм генератора (осцилограма г). При цьому в усіх режимах ВЕУ працює з близьким до максимального значення коефіцієнтом потужності $C_{Pmax} = 0,351$ (осцилограма д), що свідчить про максимальне корисне використання енергії вітру. В інтервалі часу 350...540 с ВЕУ практично не генерує електроенергії, оскільки швидкість вітру опустилася нижче 3 м/с.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб перетворення механічної енергії вітроколеса, з'єднаного із ротором нерегульованого генератора змінного струму, коли частину електроенергії з обмоток статора генератора передають до споживачів електроенергії, а частину електроенергії перетворюють в інший вид корисної енергії та накопичують у відповідному акумуляуючому пристрої шляхом підключення до фаз генератора за сигналами про частоту його обертання чи частоту його напруги відповідного перетворювача електроенергії в енергію іншого виду, який **відрізняється** тим, що напругу генератора випрямляють і прикладають до акумуляторної батареї, в якій накопичують електроенергію, причому напругу акумуляторної батареї та генератора вибирають у співвідношенні, при якому акумуляторну батарею заряджають від випрямленої напруги генератора лише при високих швидкостях вітру, а при низьких та середніх швидкостях вітру генератор навантажують періодично шляхом підключення та відключення нерегульованого перетворювача електроенергії в енергію іншого виду із забезпеченням роботи вітроколеса в околі оптимальних для конкретної швидкості вітру частот обертання.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що іншою корисною енергією є тепла енергія, яку запасують у тепловому акумуляторі за допомогою нерегульованого електротеплового перетворювача.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що періодичне навантаження генератора шляхом підключення та відключення перетворювача електроенергії в енергію іншого виду здійснюють одним багатофазним, за числом фаз генератора, електронним ключем з допомогою мікроконтролера.

4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що момент підключення перетворювача електроенергії в енергію іншого виду визначають за заданими і залежними від частоти обертання вітроколеса величинами його прискорення.

5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що перехід від режиму періодичного навантаження генератора до режиму заряджання акумуляторної батареї здійснюють за заданою величиною струму акумуляторної батареї, а також ступенем її зарядженості.

6. Система перетворення механічної енергії вітроколеса, з'єднаного із ротором нерегульованого генератора змінного струму з давачем частоти його обертання, що складається з нерегульованого перетворювача електричної енергії в енергію іншого виду, який через електронний ключ під'єднаний до обмоток статора генератора, яка **відрізняється** тим, що додатково містить акумуляторну батарею з давачем струму, з'єднану з генератором через некерований випрямляч змінної напруги в постійну, а також низку електронних пристроїв - диференціатор, функціональний перетворювач, R-S-тригер, запам'ятовуючий пристрій, пристрій затримки, три порівняльні пристрої, два логічні елементи І, дільник, задавач струму акумуляторної батареї, причому входи диференціатора та функціонального перетворювача та дільника з'єднані з виходом давача частоти обертання генератора, до входів 1-го порівняльного пристрою під'єднані відповідно виходи диференціатора та функціонального перетворювача, а його вихід з'єднаний з одним зі входів 1-го логічного елемента І, другий вхід цього логічного елемента через пристрій затримки під'єднаний до виходу 2-го порівняльного пристрою, а входи цього порівняльного пристрою з'єднані відповідно з виходами давача частоти обертання генератора та запам'ятовуючого пристрою, інформаційний вхід якого з'єднаний з виходом дільника, а керуючий вхід - з виходом 1-го порівняльного пристрою; S-вхід тригера з'єднаний з виходом 1-го логічного елемента І, R-вхід - з виходом 2-го порівняльного пристрою, а Q-вихід - з одним зі входів 2-го логічного елемента І, вихід якого з'єднаний зі входом електронного ключа, а другий вхід - з виходом 3-го порівняльного пристрою, входи якого з'єднані відповідно з виходами давача та задавача струму акумуляторної батареї.

7. Система за п. 6, яка **відрізняється** тим, що давач частоти обертання генератора є електронним пристроєм визначення частоти обертання генератора на підставі частоти його напруги.

8. Система за п. 6, яка **відрізняється** тим, що вона додатково містить контролер ступеня зарядженості акумуляторної батареї, а між виходом 3-го порівняльного пристрою та входом 2-го логічного елемента І включено перемикач з можливістю розриву зв'язку та подачі на вхід 2-го логічного елемента І логічної одиниці за вихідним сигналом контролера про повний заряд акумуляторної батареї.

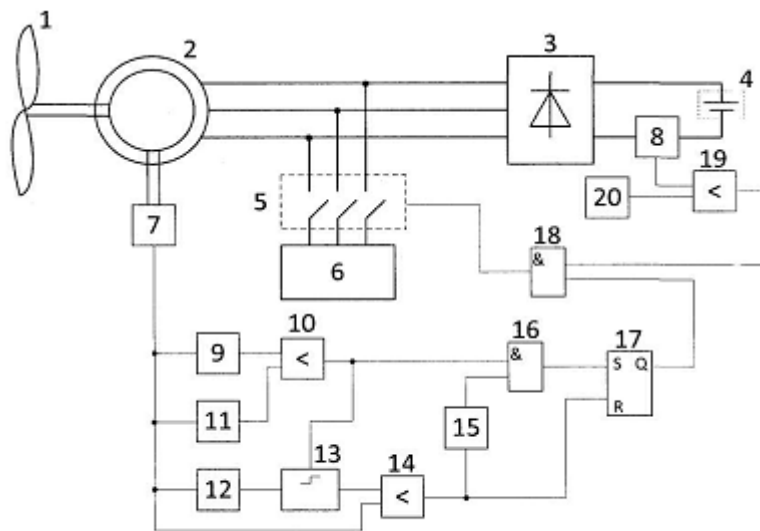
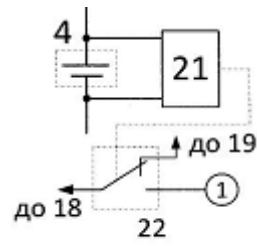
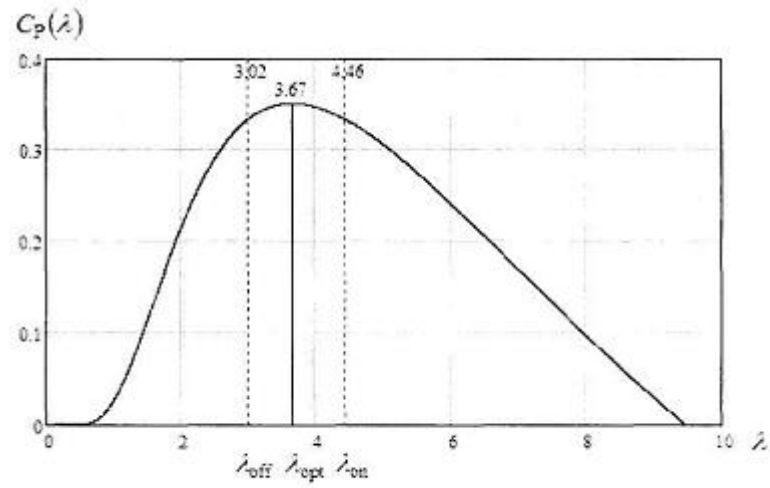


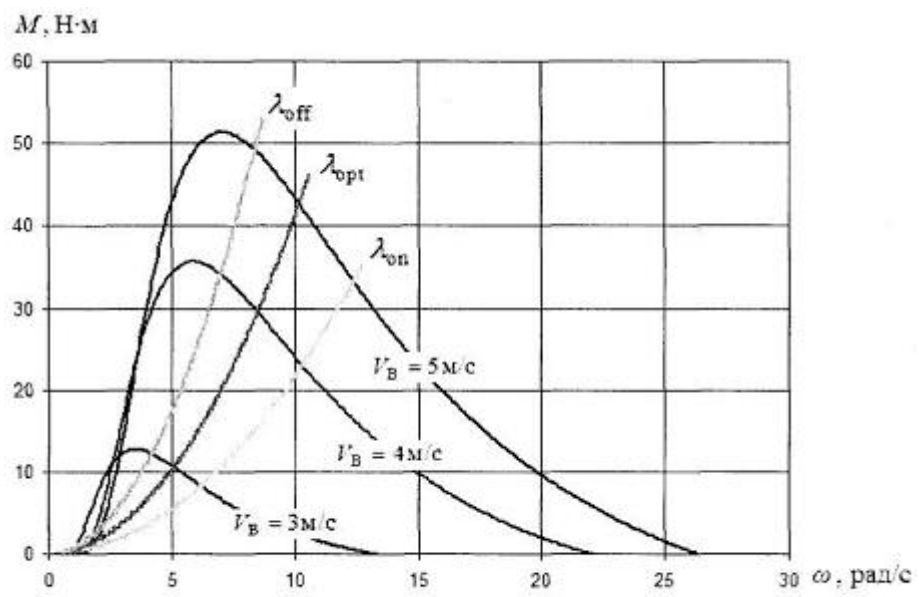
Fig. 1



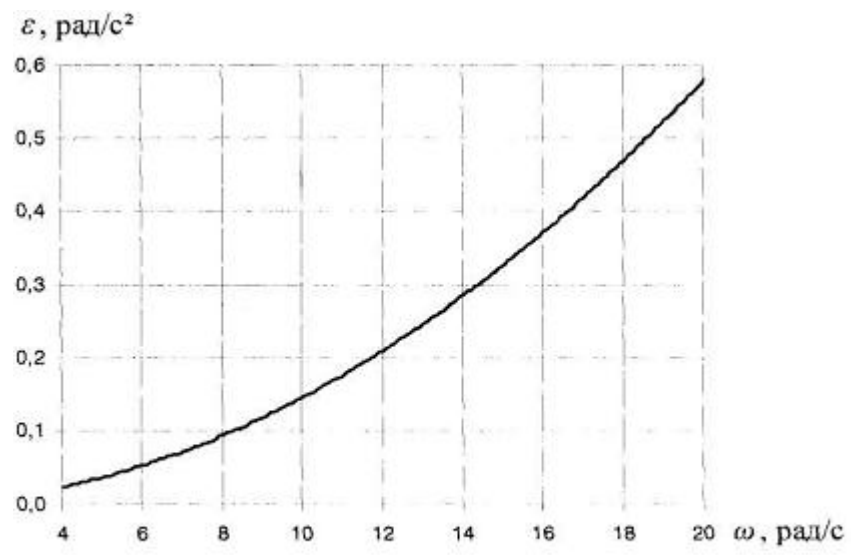
Фиг. 2



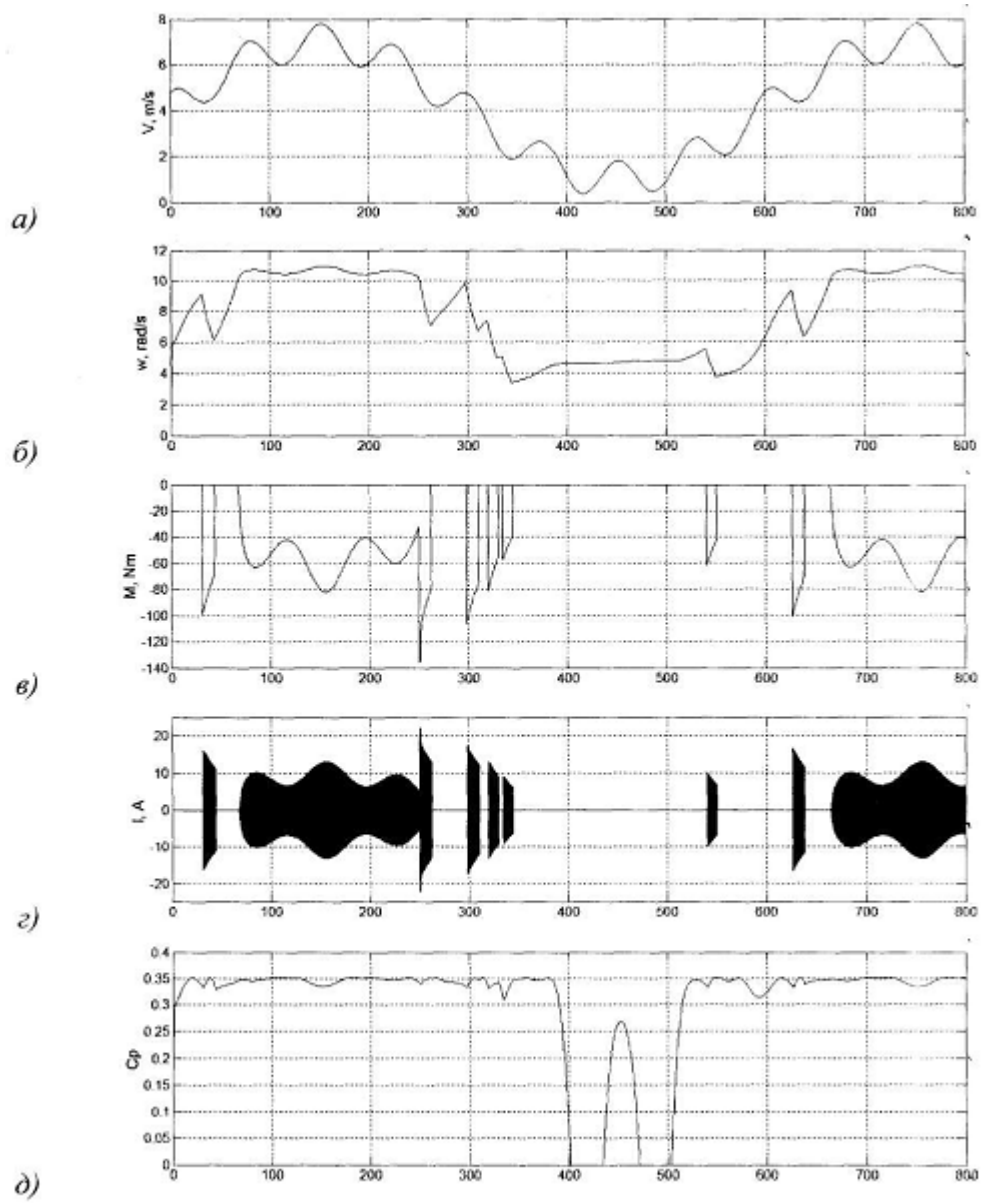
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фіг. 6

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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