

УДК 621.548

## МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНОЇ РОБОТИ АСИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ В АВТОНОМНІЙ УСТАНОВЦІ ДЛЯ ЗАРЯДЖЕННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

**В.М. Головко**<sup>1</sup>, професор, доктор технічних наук, **В.П. Коханевич**<sup>1</sup>, кандидат технічних наук,  
**М.О. Шихайлов**<sup>1</sup>, **К. Сандовал**<sup>2</sup>, кандидат технічних наук.

<sup>1</sup>Інститут відновлюваної енергетики НАН України  
02094 м. Київ, вул. Гната Хоткевича, 20А.

<sup>2</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»  
03056 м. Київ, пр-т Перемоги 37.

*В роботі наведені результати досліджень режимів роботи автономної вітроелектричної установки з паралельно ввімкненими асинхронними генераторами для зарядження акумуляторних батарей за допомогою імпульсних перетворювачів. Розробка моделі установки виконана на базі програмного пакету Matlab /Simulink /SimPower Systems. Бібл. 14, рис. 5.*

**Ключові слова:** автономна вітроелектрична установка, асинхронний генератор, імпульсний перетворювач.

## SIMULATION OF PARALLEL WORK OF ASYNCHRONOUS GENERATORS IN AUTONOMOUS INSTALLATION FOR CHARGING BATTERIES

**V. Holovko**<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, **V. Kokhanievych**<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, **A. Shykhailov**<sup>1</sup>,  
**K. Sandoval**<sup>2</sup>, candidate of technical sciences.

<sup>1</sup>Institute of Renewable Energy, NAS of Ukraine  
02094, 20A Hnata Khotkevycha Street, Kyiv, Ukraine.

<sup>2</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»  
03056, 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine.

*The paper presents the results of research of the operating modes of an autonomous wind turbine unit with parallel-on asynchronous generators for charging battery packs with pulse converters. The development of the installation model is based on the software package Matlab /Simulink /SimPower Systems. References 14, figures 5.*

**Keywords:** autonomous wind turbine, asynchronous generator, pulse converter.



В.М. Головко  
V. Holovko

**Відомості про автора:** провідний науковий співробітник Інституту відновлюваної енергетики НАН України.

**Освіта:** закінчив 1977 р. Українську сільськогосподарську академію за спеціальністю «Електрифікація сільського господарства».

**Наукова діяльність:** відновлювані джерела енергії, вітроенергетика, вітроустановки малої потужності, автономні системи енергозабезпечення.

**Публікації:** 145.

ORCID: 0000-0003-0195-9654

**Контакти:**

тел. /факс +38 (044) 206-28-09

e-mail: renewable@ukr.net

**Information about the author:** chief researcher at Institute for Renewable Energy, National Academy of Sciences of Ukraine.

**Education:** graduated from the Ukrainian Agricultural Academy in 1977 with a degree on electrification of agriculture.

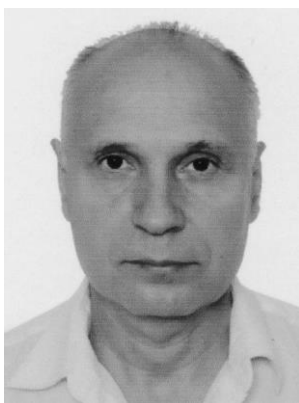
**Research area:** renewable sources of energy, wind power systems, small capacity wind units, autonomous power systems.

**Publications:** 145.

ORCID: 0000-0003-0195-9654

**Contacts:** phone /fax +38 (044) 206-28-09

e-mail: renewable@ukr.net



В.П. Коханевич  
V. Koshanivych

**Відомості про автора:** старший науковий співробітник Інституту відновлюваної енергетики НАН України.

**Освіта:** закінчив 1979 р. Київський політехнічний інститут за спеціальністю «Технологія машинобудування, метало ріжучі верстати та інструменти».

**Наукова діяльність:** вітроенергетика, вітроустановки малої потужності, системи регулювання та захисту.

**Публікації:** 121.  
ORCID: 0000-0003-0033-1355

**Контакти:**  
тел. /факс +38 (044) 206-28-09  
e-mail: renewable@ukr.net

**Information about the author:** research fellow at Institute for Renewable Energy, National Academy of Sciences of Ukraine.

**Education:** graduated from the Kyiv Polytechnic Institute in 1979 with a degree on technology of machine building, metal cutting machines and tools.

**Research area:** power systems, converting types of energy, automation and modeling processes. wind power systems, small capacity wind units, control systems and protect.

**Publications:** 121.  
ORCID: 0000-0003-0033-1355  
**Contacts:** phone /fax +38 (044) 206-28-09  
e-mail: renewable@ukr.net



М.О. Шихайлов  
A. Shykhailov

**Відомості про автора:** науковий співробітник Інституту відновлюваної енергетики НАН України.

**Освіта:** закінчив 1979 р. Київський політехнічний інститут за спеціальністю «Гідропневмоавтоматика та гідропривід».

**Наукова діяльність:** вітроенергетика, вітроустановки малої потужності, системи управління.

**Публікації:** 191.  
ORCID: 0000-0003-1845-9904

**Контакти:**  
тел. /факс +38 (044) 206-28-09  
e-mail: renewable@ukr.net

**Information about the author:** researcher at Institute for Renewable Energy, National Academy of Sciences of Ukraine.

**Education:** graduated from the Kyiv Polytechnic Institute in 1979 with a degree on hydropneumatic and hydraulic drive.

**Research area:** wind power systems, small capacity wind units, control systems.

**Publications:** 191.  
ORCID: 0000-0003-1845-9904  
**Contacts:** phone /fax +38 (044) 206-28-09  
e-mail: renewable@ukr.net



К. Сандовал  
K. Sandoval

**Відомості про автора:** стажер у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського».

**Освіта:** закінчив 2010 р. Вінницький політехнічний інститут.

**Наукова діяльність:** енергетичні системи, перетворення видів енергії, автоматизація і моделювання процесів.

**Публікації:** 10.  
ORCID: 0000-0001-6700-3343

**Контакти:**  
phone /fax +38 (044) 204-95-19  
e-mail: carlszr15@gmail.com

**Information about the author:** intern of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

**Education:** graduated from the Vinnitsa Polytechnic Institute in 2010.

**Research area:** power systems, converting types of energy, automation and modeling processes.

**Publications:** 10.  
ORCID: 0000-0001-6700-3343  
**Contacts:** phone /fax +38 (044) 204-95-19  
e-mail: carlszr15@gmail.com

#### Перелік використаних позначень та скорочень:

*ABEV* – автономна вітроелектрична установка;  
*АГ* – асинхронний генератор;  
*ІП* – імпульсний перетворювач;  
*U* – напруга на затискачах випрямлячів;  
*t<sub>off3</sub>* – тривалість паузи після сумування періодів;  
*T<sub>1</sub>* – період роботи ІП<sub>1</sub>;  
*T<sub>2</sub>* – період роботи ІП<sub>2</sub>;

*T<sub>1,2</sub>* – сумарний період  
*t<sub>on1</sub>* – тривалість вмикання ІП<sub>1</sub>;  
*t<sub>on2</sub>* – тривалість паузи (відключення) ІП<sub>2</sub>;  
*t<sub>delay</sub>* – тривалість запізнення імпульсу одного із імпульсних перетворювачів;  
*t<sub>off3</sub>* – тривалість паузи після сумування періодів.

**Вступ.** Використання автономних вітроелектричних установок (АВЕУ) з асинхронними генераторами (АГ) у віддалених районах є одним з доступних рішень для генерування електроенергії та електрозабезпечення споживачів. Широке використання таких систем стримується необхідністю забезпечення їх надійності та простоти експлуатації.

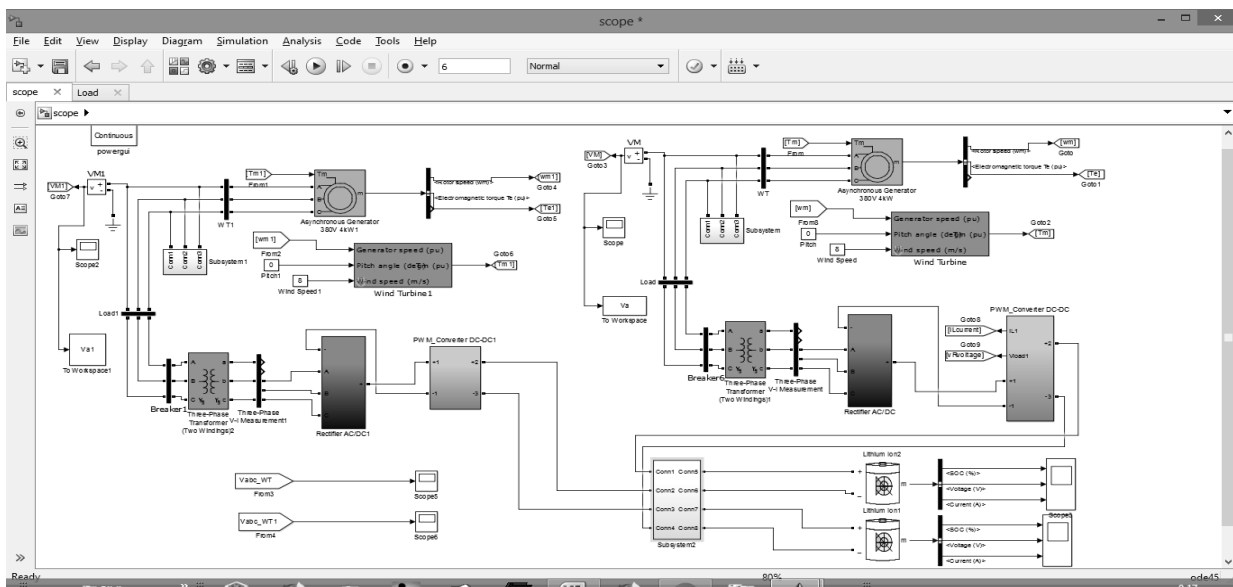
Останніми роками було проведено ряд досліджень систем генерації електричної енергії вітроелектроустановок з використанням асинхронних машин в якості генераторів. Відомо багато робіт [1–5], де досліджувалися різні методи для визначення ємності для компенсації реактивної потужності асинхронного генератора. Одним із недоліків цієї машини є необхідність забезпечення реактивною потужністю для створення магнітного поля не тільки для самозбудження, але і при зростанні навантаження. В роботах [6–9] описується використання напівпровідникових елементів, що дозволило ефективно керувати АВЕУ з АГ. В статтях [10–11] наведені результати досліджень з підвищення жорсткості зовнішньої характеристики АГ. Слід підкреслити, що не дивлячись на надійність схеми для керування АВЕУ, випадковий характер зміни

швидкостей вітру та його пориви можуть призвести до виходу АГ із генераторного режиму. АВЕУ з АГ із використанням імпульсних перетворювачів (ІП) [12–14] для зарядження акумуляторних батарей дозволяє здійснювати пряме підключення до споживача, що покращує не тільки умови роботи ВЕУ, але й спрощує систему регулювання напруги та частоти.

**Постановка задачі.** В роботі поставлена задача розробки імітаційної моделі паралельної роботи вітроагрегатів з АГ у складі АВЕУ для зарядження акумуляторних батарей при змінній швидкості вітру та, відповідно цій зміні підлаштувати шпаруватість вихідного сигналу ІП.

**Методи дослідження.** Для дослідження режимів паралельної роботи вітроагрегатів з АГ у складі АВЕУ проводились шляхом імітаційного моделювання за допомогою програмного пакету Matlab /Simulink /SimPower Systems

**Результати дослідження.** Імітаційна модель АВЕУ наведена на рис. 1, де вітряна турбіна з'єднана з АГ, який підключений до блоку конденсаторів. На виході терміналів АГ підключений випрямляч. ІП працює як буфер для підключення і відключення до акумуляторної батареї. На виході кожного ІП вимірюється струм.



**Рис. 1.** Імітаційна модель автономної вітроелектричної установки з двома асинхронними генераторами, що паралельно працюють на зарядження акумуляторів.

**Fig. 1.** The simulation model of an autonomous wind turbine unit with two asynchronous generators, which works in parallel to recharge batteries.

Імпульсні перетворювачі працюють на базі широтно-імпульсної модуляції з частотою 4 Гц [13]. У випадку, коли напруга на затискачах випрямлячів АГ  $U_1=U_2$ , маємо подвоєння вихідного сигналу (рис. 2а), а при умові  $U_1 \neq U_2$  – необхідно провести зсувення подачі сигналів при подачі їх на клемми акумулятора (рис. 2б).

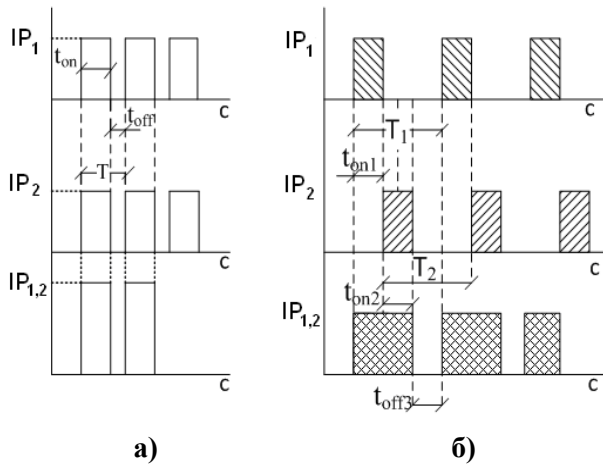


Рис. 2. Форми вихідних імпульсів системи.

Fig. 2. Forms of output pulses of the system.

На рис. 2  $IP_1$  відповідає сигналу від  $П_1$ ,  $IP_2$  –  $П_2$ , а  $IP_{1,2}$  є сумарне значення двох сигналів. Тоді значення тривалостей пауз та періодів роботи імпульсних перетворювачів такі:

$$t_{off3} = T_1 - (t_{on1} + t_{on2}), \quad (1)$$

$$t_{off3} = T_2 - (t_{on1} + t_{on2}), \quad (2)$$

$$t_{off3} = \frac{T_1 + T_2}{2} - (t_{on1} + t_{on2}), \quad (3)$$

$$t_{delay} = (0,1 \dots 0,9 \cdot T_{1,2}), \quad (4)$$

де  $t_{off3}$  – тривалість паузи після сумування періодів;  $T_1$  – період роботи  $П_1$ ;  $T_2$  – період роботи  $П_2$ ;  $t_{on1}$  – тривалість включення  $П_1$ ;  $t_{on2}$  – тривалість паузи (відключення)  $П_2$ ;  $t_{delay}$  – тривалість запізнення імпульсу одного із імпульсних перетворювачів.

При ширині імпульсу 0,5 с в  $П_1$  та  $П_2$  тривалість паузи  $t_{off3}$  буде дорівнювати нулю. Тоді  $t_{off3}$  час вмикання дорівнює 0,25 с, що означає постійність зарядження АБ без паузи. Струми імпульсних перетворювачів на виході системи не сумуються.

У розрахунку за формулою (3), коли ширина імпульсу складає 0,6 с в  $П_1$  та до 0,9 с в  $П_2$  результат має від’ємне значення, що відповідає накладанню імпульсу  $П_1$  на імпульс  $П_2$ , тобто сумування струмів від імпульсних перетворювачів.

У першому випадку ( $U_1=U_2$ ), системи АВЕУ з АГ підключена до П, коли швидкість вітру досягає 8 м/с, напруга на затискачах асинхронних генераторів досягає свого номінального значення – 1 в.о. (відносних одиниць) (рис. 3а). Шпаруватість  $IP_{1,2}$  дорівнює 0,9 для використання максимальної енергії, що виробляють АГ. Струм на виході системи АВЕУ складе 3 А, тобто за ідеальних умов роботи він сумується. Внаслідок збільшення струму на виході пристрою для зарядження батарей додається другий блок акумуляторів.

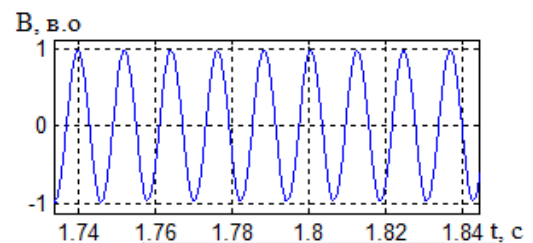
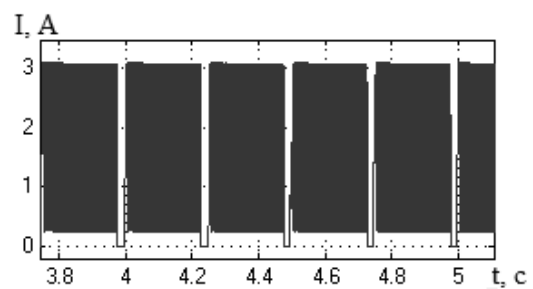
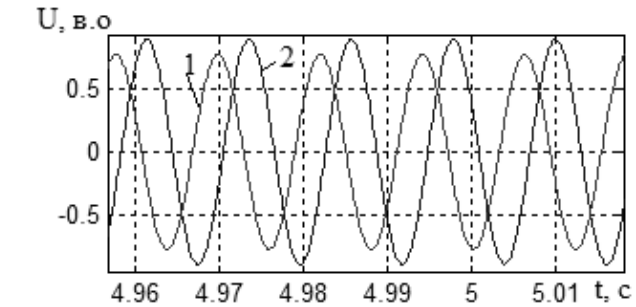


Рис. 3. Струм на виході системи АВЕУ.

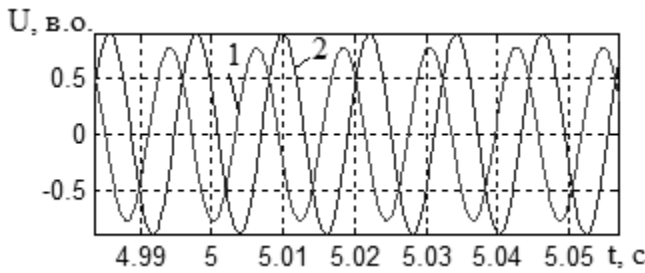
Fig. 3. Current at the output of the AVEU system.

У другому випадку ( $U_1 \neq U_2$ ) результати досліджень наведені у рис. 4. При падінні швидкості вітру на першому вітроагрегаті до 0,9 від номінальної, а на другий до 0,8, напруга на затискачах першого генератора складе 0,78 в.о., а на другому – 0,89 в.о. Умови роботи П будуть такі: шпаруватість першого складе 0,4, а другого – 0,6. Тривалість паузи розраховується за формулою 3, яку можна заповнити тривалістю включення  $П_2$  В результаті струми, що будуть на ви-

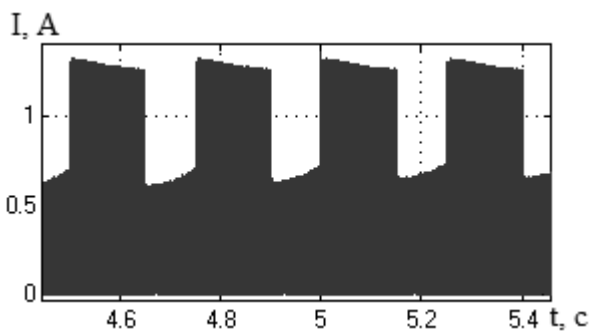
ході системи після зсуву імпульсів, складуть



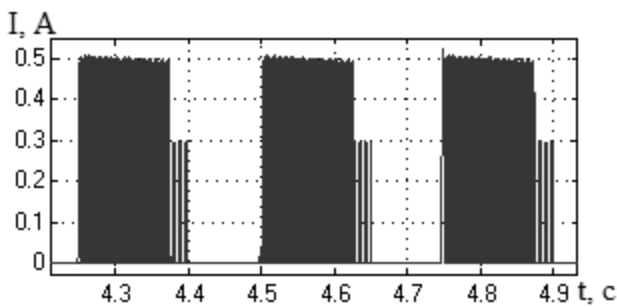
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Струм на виході системи ABEY.

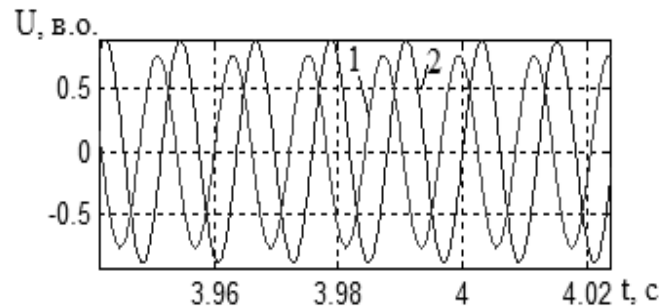
Fig. 4. Current at the output of the ABEU system.

При подальшому падінні швидкості вітру на першому вітроагрегаті до 0,75 від номінального значення, а на другому – до 0,9, напруга на затискачах генераторів, відповідно, складе 0.73 в.о та 0.89 в.о. (рис. 4б). Шпаруватості П<sub>1</sub> буде дорівнювати 0,1, а П<sub>2</sub> – 0,5. Величина струму на

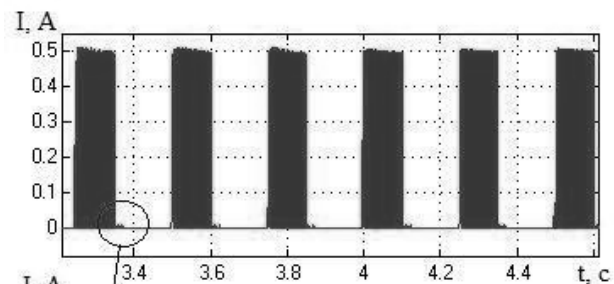
0,7 А та 1,1 А (рис. 4в).

виході системи після зсуву імпульсів П<sub>1</sub> становитиме 0,3 А та 0,5 А (рис. 4г).

Якщо перший генератор досягне межі виходу з генераторного режиму (напруга 0,71 в.о.), а напруга другого залишиться 0,89 в.о., то струм на виході системи, відповідно, складе, 0.005 А та 0.5 А (рис. 5).



а)



б)

Рис. 5. Струм на виході системи ABEY.

Fig. 5. Current on the output of the ABEU system.

**Висновки.** Проведено аналіз режимів роботи автономної вітроелектричної установки з паралельно увімкненими асинхронними генераторами для зарядження акумуляторних батарей на базі імітаційного моделювання. Зарядження пропонується проводити за допомогою імпульсних перетворювачів. У випадку співпадання напруг на виході перетворювачів (ідеальний варіант) загальний струм зарядження буде дорівнювати сумі струмів від генераторів. При неспівпаданні напруг на виході перетворювачів, внаслідок різної швидкості вітру в зоні розташування гене-

раторів (реальний варіант), необхідно передбачити зсув подачі імпульсів зарядного струму на клемі акумуляторних батарей.

1. Sunil Kumar Goyal. Analysis of Performance Parameters and Estimation Of Optimum Capacitance For Asynchronous Generator. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 19(2016) 1753–1762.

2. C. Chakraborty, S.N. Bhadra, A.K. Chattopadhyay. Excitation Requirements For Standalone Three Phase Induction Generator, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 13, No. 4, 1998, pp. 358–365.

3. Головка В.М., Коханевич В.П., Шихайлов Н.А., Сандовал К., Донец А.М. Имитационная модель для анализа параметров автономных ветроэлектрических установок с асинхронным генератором // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2017. – №4. – С. 42–52.

4. Dominguez Garcia, Jose Luis, Modeling and Control of Squirrel Cage Induction Generator With Full Power Converter Applied To Windmills. *Universitat Politecnica de Catalunya / Oulun Yliopisto*, 2009.

5. Васько П.Ф., Брыль А.А., Пекур П.П. Определение технических показателей эффективности использования ветроэлектрических агрегатов в Украине // *Энергетика и электрификация*. – 1995. – №2. – С. 48–51.

6. J. A. Barrado and R. Grino. Voltage and Frequency Control For A Self-Excited Induction Generator Using A Three-Phase Four – Wire Electronic Converter, 2006, 12th International Power Electronics and Motion Control Conference, Portoroz, 2006, pp. 1419–1424. doi: 10.1109/EPEPEMC.2006.4778602

7. R. Bornet, S. Rajakaruna. Self-Excited Induction Generator With Excellent Voltage and Frequency Control, in *IEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution*, vol. 145, No. 1, pp. 33–39, Jan 1998. doi: 10.1049/ip-gtd:19981680.

8. B. Singh, S.S. Murthy, S. Gupta. Analysis and Design of STATCOM-Based Voltage Regulator For Self-Excited Induction Generators, in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 19, No. 4, pp. 783–790, Dec. 2004. doi: 10.1109/TEC.2004.827710.

9. Vellapatchi Nayanar. Wind-Driven SEIG Supplying DC Microgrid Through A Single-Stage Power Converter / Nayanar Vellapatchi // *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 19(2016) 1600–1607.

10. Кудря С.О., Будько В.І., Павлов В.Б., Попов А.В., Павленко В.С. Дослідження роботи зарядного пристрою акумуляторної батареї від вітроагрегату // *Відновлювана енергетика*. – 2010. – №4. – С. 5–10.

11. Зачепа Ю.В. Моделювання перехідних процесів асинхронного генератора з живленням споживачів постійного струму // *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Технічні науки*. – 2015. – Вип. 1. – С. 108–114.

12. Головка В.М., Коханевич В.П., Шихайлов М.О., Сандовал К. Аналіз режимів роботи автономної вітроелектричної установки з асинхронним генератором з використанням імпульсного пристрою для зарядження акумуля-

торних батарей на базі імітаційного моделювання // *Відновлювана Енергетика*. – 2017. – №2. – С. 63–74.

13. Головка В.М., Сандовал К. Порівняльний аналіз експериментальних та результатів імітаційного моделювання роботи автономної вітроелектричної установки з асинхронним генератором з використанням імпульсного пристрою для зарядження акумуляторних батарей // *Енергетика і автоматика*. – 2017. – №2 (32). – С. 153–160.

14. А.с. 117122 Україна, МПК F03D 9/00, H02j 7/00. Пристрій для зарядження акумуляторних батарей / В.М. Головка, В.П. Коханевич, М.О. Шихайлов, В.Б. Павлов, В.С. Павленко, К.Р. Сандовал (Україна). – №2017 01210; заявл.10.02.17; опубл. 12.06.17, Бюл. №11.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В АВТОНОМНОЙ УСТАНОВКЕ ДЛЯ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

**В.М. Головка**<sup>1</sup>, профессор, доктор технических наук, **В.П. Коханевич**<sup>1</sup>, кандидат технических наук, **Н.А. Шихайлов**<sup>1</sup>, **К.Р. Сандовал**<sup>2</sup>, кандидат технических наук.

<sup>1</sup>Институт возобновляемой энергетики НАН Украины  
02094 г. Киев, ул. Гната Хоткевича, 20А.

<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского»  
03056 г. Киев, пр-т Перемоги, 37.

*В работе приведены результаты исследований режимов работы автономной ветроэлектрической установки с параллельно включенными асинхронными генераторами для зарядки аккумуляторных батарей с помощью импульсных преобразователей. Разработка модели установки выполнена на базе программного пакета Matlab /Simulink /SimPower Systems. Библ. 14, рис. 5.*

**Ключевые слова:** автономная ветроэлектрическая установка, асинхронный генератор, импульсный преобразователь.

### REFERENCES

1. Sunil Kumar Goyal, Analysis of Performance Parameters and Estimation Of Optimum Capacitance For Asynchronous Generator. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 19(2016) 1753–1762.

2. C. Chakraborty, S.N. Bhadra, A.K. Chattopadhyay, Excitation Requirements For Standalone Three Phase Induction Generator, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 13, No. 4, 1998, pp. 358–365.

3. Golovko V.M., Kohanevich V.P., Shikhailov N.A., Sandoval K., Donets A.M. Imitation Model For Analysis Of Parameters Of Autonomous Wind-Driven Installations With An Asynchronous Generator // *Alternative energy and ecology*. – 2017. – №4. – P. 42–52.

4. Dominguez Garcia, Jose Luis, Modeling and Control of Squirrel Cage Induction Generator With Full Power Converter

Applied To Windmills. Universitat Politecnica de Catalunya / Oulun Yliopisto, 2009.

5. Vasko P.F., Bryl A.A., Pekur P.P. Determination Of Technical Indicators Of Efficiency Of Wind Energy Utilization In Ukraine // Power engineering and electrification. – 1995. – №2. – P. 48–51.

6. J. A. Barrado and R. Grino, Voltage and Frequency Control For A Self-Excited Induction Generator Using A Three-Phase Four – Wire Electronic Converter, 2006, 12th International Power Electronics and Motion Control Conference, Portoroz, 2006, pp. 1419–1424. doi: 10.1109/EPEPEMC.2006.4778602

7. R. Bornet and S. Rajakaruna Self-Excited Induction Generator With Excellent Voltage and Frequency Control, in IEE Proceedings – Generation, Transmission and Distribution, vol. 145, No. 1, pp. 33–39, Jan 1998. doi: 10.1049/ipgtd:19981680.

8. B. Singh, S.S. Murthy and S. Gupta, Analysis and Design of STATCOM-Based Voltage Regulator For Self-Excited Induction Generators, in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 19, No. 4, pp. 783–790, Dec. 2004. doi: 10.1109/TEC.2004.827710.

9. Vellapatchi Nayanar, Wind-Driven SEIG Supplying DC Microgrid Through A Single-Stage Power Converter / Nayanar Vellapatchi // Engineering Science and Technology, an International Journal. 19(2016) 1600–1607.

10. Kudrya S.O., Budko V.I., Pavlov V.B., Popov A.V., Pavlenko V.Y. Investigating The Work Of The Battery Charger From The Wind Turbine // Renewable energy. – 2010. – №4. – P. 5–10.

11. Zachepa Y.V. Simulation of Transient Processes of Asynchronous Generator With Power Supply for DC Consumers // Collection of scientific works of Dneprodzerzhinsky State Technical University. Technical sciences. – 2015. – Vip. 1. – P. 108–114.

12. Golovko V.M., Kokanievich V.P., Shikhailov M.O. Sandoval K. Analysis Of Operating Modes Of An Autonomous Wind Power Plant With An Asynchronous Generator Using A Pulse Device For Charging Rechargeable Batteries based on simulation // Renewable Energy. – 2017. – №2. – P. 63–74.

13. Golovko V.M., Sandoval K. Comparative analysis of experimental and simulation results of simulation of autonomous wind power plant with an asynchronous generator using a pulse device for charging rechargeable batteries // Power engineering and Automatics. – 2017. – №2 (32). – P. 153–160.

14. A.s. 117122 Ukraine, IPC F03D 9/00, H02j 7/00. Battery charging device / V.M. Golovko, V.P. Kohanevich, M.O. Shikhailov, V.B. Pavlov, V.E. Pavlenko, K.P. Sandoval (Ukraine). – №2017 01210; stat. 10.02.17; publ. on 06.12.17, Bull. №11.

## SYNOPSIS

Using autonomous wind turbines (AWT) with asynchronous generators (AG) in remote areas is one of the available solutions for power generation and electric power consumers.

It should be emphasized that despite the complexity of the circuits to control AWT random nature of change of wind speed and gusts it can lead to hypertension output of the generator mode. AWT with hypertension using pulsed converters (PC) to charge the batteries allows direct connection to a consumer that not only improves the working conditions of wind turbines, but also simplifies regulation voltage and frequency.

The work task design simulation models in parallel operation AWT AG to charge batteries during variable wind speeds and related this change duty cycle output signal PC. The development of the installation model is based on the software package Matlab / Simulink / SimPower Systems.

Studies have shown that in the case of the coincidence of voltage drops at the output of the converters (the ideal variant), the total charge current of the bidet is equal to the sum of currents from the generators. When a mismatch output voltage converters, as a result of various wind speeds in the area of the generator (real version), there should be a shift pulse charging current supply terminals on the batteries.

## РЕФЕРАТ

Использование автономных ветроэлектрических установок (АВЭУ) с асинхронными генераторами (АГ) в отдаленных районах является одним из доступных решений для генерирования электроэнергии и электрообеспечения потребителей. Необходимо подчеркнуть, что, не смотря на сложность схемы для управления АВЭУ, случайный характер изменения скорости ветра и его порывы могут привести к выходу АГ из генераторного режима. АВЭУ с АГ с использованием импульсных преобразователей (ИП) для зарядки аккумуляторных батарей позволяет осуществить прямое подключение к потребителю, что улучшает не только условия работы ВЭУ, но и упрощает систему регулирования напряжения и частоты.

В работе поставлена цель разработки имитационной модели параллельной работы АГ в АВЭУ для зарядки аккумуляторных батарей при переменной скорости ветра и соответствующему изменению скважности выходного сигнала ИП. Разработка модели установки выполнена на базе программного пакета Matlab /Simulink /SimPower Systems.

Исследования показали, что в случае совпадения напряжений на выходе преобразователей (идеальный вариант) суммарный ток зарядки будет составлять сумму токов генераторов. При несовпадении напряжений на выходе преобразователей, в результате разных скоростей ветра в зоне размещения генераторов (реальный вариант), необходимо предусмотреть смещение подачи импульсов зарядного тока на клеммы аккумуляторных батарей.

Стаття надійшла до редакції 02.05.18

Остаточна версія 07.06.18