

УДК 621.548

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТА
РЕЗУЛЬТАТІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ
АВТОНОМНОЇ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ З АСИНХРОННИМ
ГЕНЕРАТОРОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ІМПУЛЬСНОГО ПРИСТРОЮ
ДЛЯ ЗАРЯДЖЕННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ**

В. М. Головка, доктор технічних наук, професор

К. Р. Сандовал, аспірант

*Національний технічний університет «Київський політехнічний
інститут ім. І.Сікорського»*

e-mail: vit1986@ua.fm

Анотація. Використання автономних вітроелектричних системи з асинхронним генератором за свою простоту конструкції, високу надійність є одним із раціональних шляхів для електрозабезпечення віддалених від центральних систем споживачів. Використання асинхронної машини як генератора вимагає подання реактивної потужності до обмотки статора для самозбудження, що найчастіше здійснюється від блоку конденсаторів. Метою досліджень було проведення порівняльного аналізу ефективності роботи автономної вітроелектричної системи з асинхронним генератором та імпульсним перетворювачем для зарядження акумуляторних батарей за показниками, що отримані на базі імітаційного моделювання та експерименту. Аналіз, показує, що за зміни шпаруватості від 0,2 до 0,9 асинхронна машина не втрачає генераторний режим за зміни швидкості вітру в діапазоні 0,95 – 0,75 від номінального значення. Розбіжність значень, що отримані експериментальним шляхом і за моделлю, складає від 3 до 5 %, що свідчить про її адекватність.

Ключові слова: *вітроенергетика, вітроустановка, імпульсний перетворювач, зарядження акумуляторної батареї*

Актуальність. Використання автономних вітроелектричних системи (АВЕС) з асинхронним генератором (АГ) за свою простоту конструкції, високу надійність і, за потреби, не складну схему підключення паралельно до електромережі є ідеальним для електрозабезпечення віддалених від центральних систем споживачів. Використання асинхронної машини як

генератора вимагає подання реактивної потужності до обмотки статора для самозбудження, що найчастіше здійснюється від блоку конденсаторів [1, 2, 3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Не простою задачею для роботи ВЕУ з АГ є регулювання напруги та частоти під впливом різних збурень та утримання показників якості електроенергії в робочому режимі. Вирішенню цієї задачі присвячено ряд робіт [1,4]. Проведено ряд досліджень, що аналізують динаміку роботи ВЕУ з АГ та інвертором змінного струму (ЗС) в постійний (ПС) для зарядження акумуляторної батареї або постачання електроенергії до електромережі постійного струму [5, 6, 7]. Для зарядження акумуляторної батареї від вітроагрегата проведено аналіз імпульсного зарядного пристрою в [8].

Мета дослідження – порівняльний аналіз ефективності роботи автономної вітроелектричної системи з асинхронним генератором та імпульсним перетворювачем (ІП) для зарядження акумуляторних батарей (АБ) за показниками, що отримані на базі моделювання та експерименту.

Матеріали і методи дослідження. На рис.1 наведена блок-схема стенду АВЕС, що складається з таких елементів: вітроелектрична установка з АГ, трифазний випрямляч, ІП та навантаження (АБ).

Потужність асинхронного генератора 1,1 кВт, блок конденсаторів для самозбудження генератора ємністю 30 мкФ.

Імпульсний перетворювач повинен періодично підключатися до навантаження (батареї). Керування комутаційним ключем здійснюється за допомогою широтної імпульсної модуляції (ШІМ) з робочою частотою від 2 до 10 Гц. Перехідний процес, що відбувається в системі АВЕС з АГ з самозбудженням – головна умова для визначення тривалості вихідного імпульсу t_{off} , тобто $t_{off} < T_a$, де T_a – стала часу ВЕУ.

Результати досліджень. Програмою досліджень передбачалося визначити вплив величини шпаруватості імпульсу перетворювача на вихідні

показники асинхронного генератора ВЕУ за різних значень швидкості вітру нижче номінальної в діапазоні від 0,95 до 0,75 (рис.2, 3 та 4).

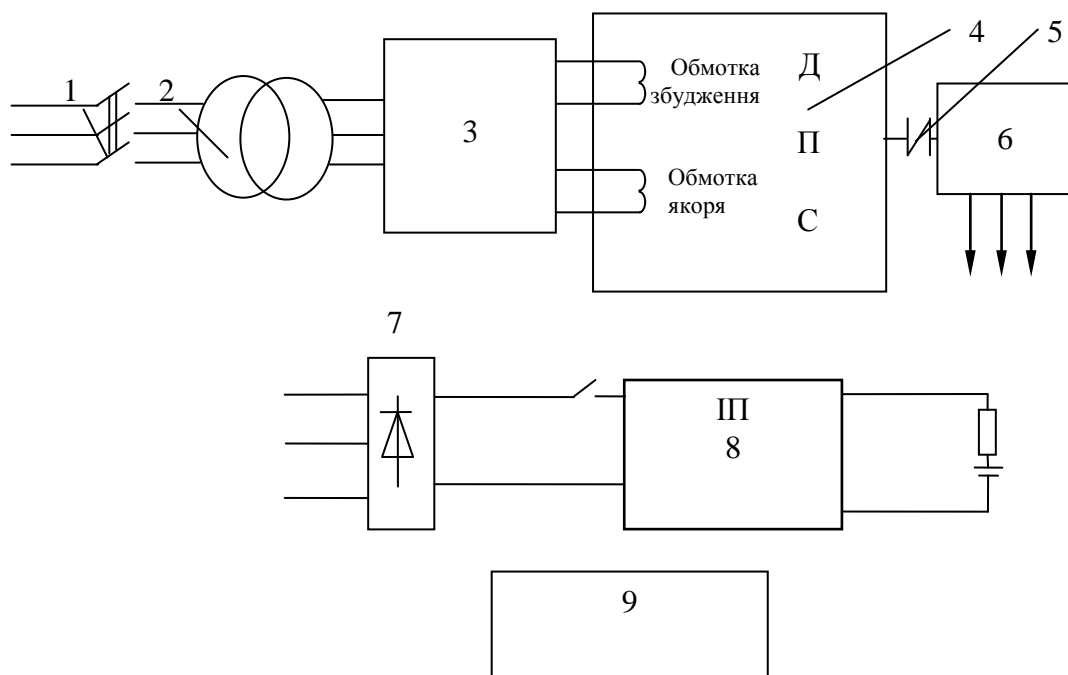


Рис. 1. Блок – схема стенду автономної вітроелектричної системи з імпульсним перетворювачем:

1 – ввідний автоматичний вимикач; 2 – трансформатор; 3 – блок керування двигуном постійного струму; 4 – електродвигун постійного струму; 5 – муфта; 6 – електрогенератор; 7 – випрямляч; 8 – імпульсний перетворювач; 9 – вимірювальний комплекс

На рис.2 наведена залежність зміни напруги в часі на виході генератора ВЕУ при значеннях шпаруватості 0,2; 0,4; 0,6; 0,9 та швидкості вітру 0,95 від номінального значення. З ростом значення шпаруватості спад напруги складає до 15 % за експериментальними даними (крива 1), а за результатами моделювання – 11 % (крива 2). Розбіжність знаходиться в межах 5 %.

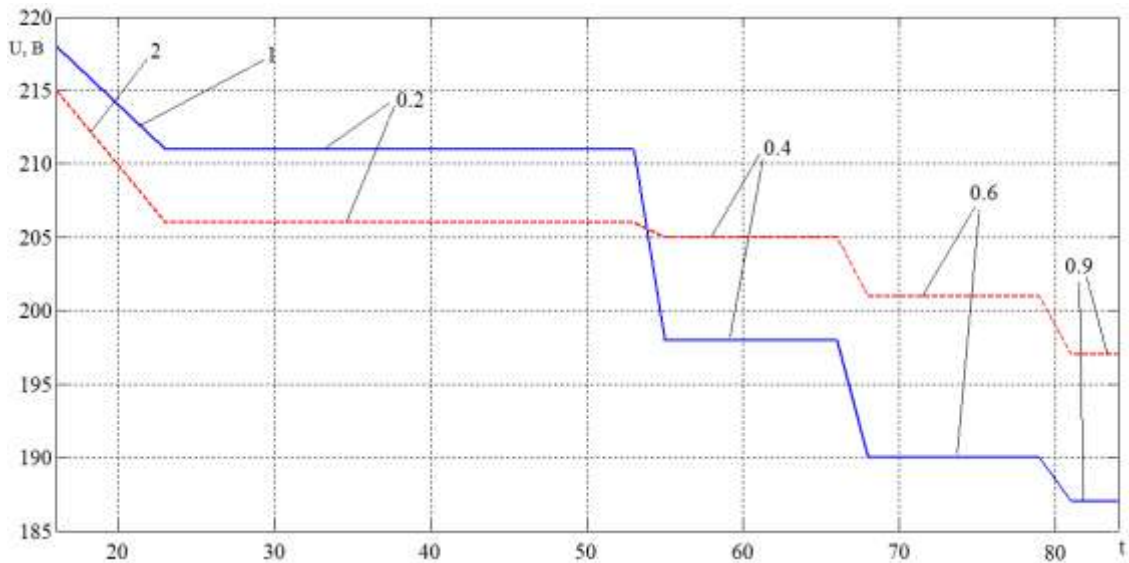


Рис. 2. Зміна напруги на затискачах генератора ВЕУ за швидкості вітру 0,95 від номінальної та різної шпаруватості імпульсу (1 – експеримент; 2 – імітаційне моделювання)

За швидкості вітру 0,85 від номінального значення (рис.3) та при тих же значеннях шпаруватості спад напруги складає 7 % за експериментальними даними (крива 1) і 5 % за результатами моделювання (крива 2). Розбіжність знаходиться в межах 3 %.

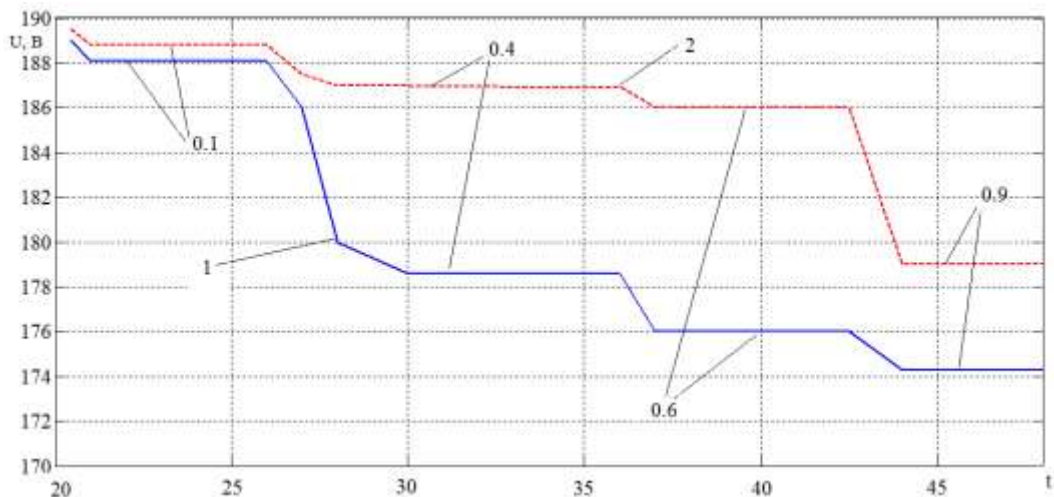


Рис. 3. Зміна напруги на затискачах генератора ВЕУ за швидкості вітру 0,85 від номінальної та різної шпаруватості імпульсу (1 – експеримент; 2 – імітаційне моделювання)

За швидкості вітру 0,75 від номінального значення та шпаруватості від 0,2 до 0,9 спад напруги за експериментальними даними складає 6 %, а за результатами моделювання 4 %. Розбіжність в межах 3 %.

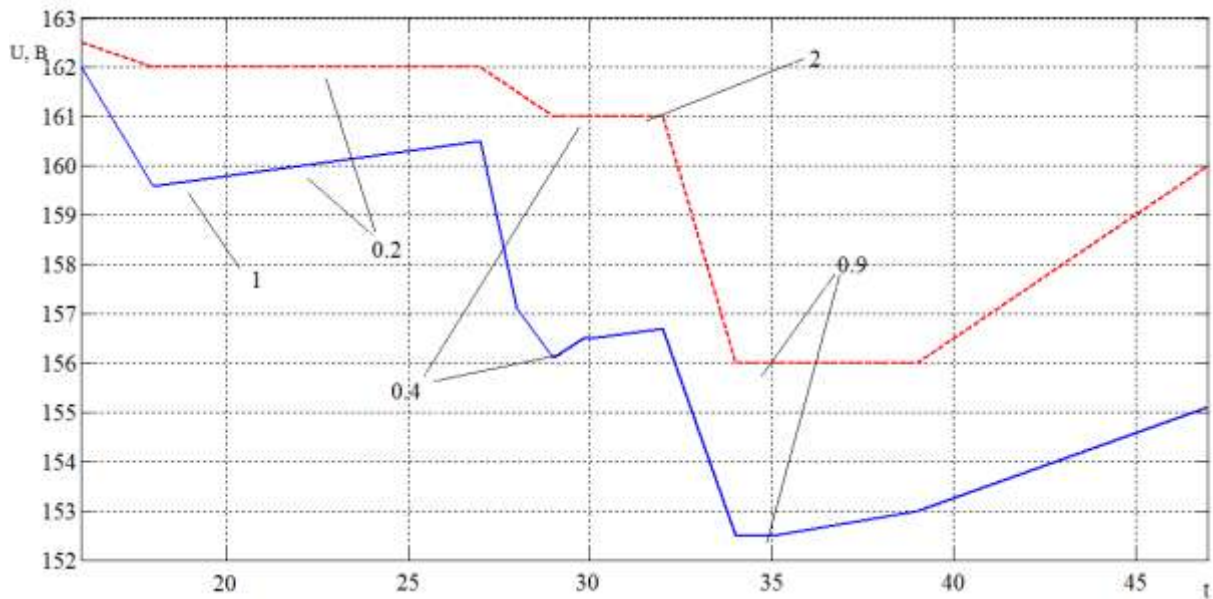


Рис.3. Зміна напруги на затискачах генератора ВЕУ за швидкості вітру 0,75 від номінальної та різної шпаруватості імпульсу (1 – експеримент; 2 – імітаційне моделювання)

Слід відмітити вплив інерційності ротора ВЕУ після перехідного процесу у вигляді підйому кривої напруги під час прикладення імпульсів різної шпаруватості.

Висновки

1. Порівняльний аналіз експериментальних результатів та тих, що отримані моделюванням, показує, що за зміни шпаруватості від 0,2 до 0,9 асинхронна машина не втрачає генераторний режим за зміни швидкості вітру в діапазоні 0,95 – 0,75 від номінального значення.

2. Розбіжність значень, отриманих експериментальним шляхом і за моделлю, складає від 3 до 5 %, що свідчить про її адекватність.

Список літератури

1. Кривцов В. С. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэлектрогенераторы / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. – Харьков: Нац. Аэрокосмю ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севаст. 2003. – 400 с.
2. Мхитарян Н. М. Анализ некоторых особенностей синхронных и асинхронных генераторов, используемых в качестве автономных источников энергии / Н. М. Мхитарян, С. А. Кудря, Ю. Н. Перминов, В. Ф. Буденный // Відновлюв. енергетика. – 2010. – № 2. – С. 7-9.
3. Головки В.М. Имитационная модель для анализа параметров автономных ветроэлектрических установок с асинхронным генератором / В. М. Головки, В. П. Коханевич, Н. А. Шихайлов та ін. // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). – 2017. – (4-6):42-52. DOI:[10.15518/isjaee.2017.04-06.042-052](https://doi.org/10.15518/isjaee.2017.04-06.042-052).
4. Брыль А.А. Система генерирования электрической энергии на основе асинхронных машин с короткозамкнутым ротором для автономных ветроэлектрических установок / А.А. Брыль, П.Ф. Васько, П.П. Пекур // Регулируемые асинхронные двигатели: сб. науч. трудов. – К.: Ин-т электродинамики АН Украины, 1992. – С. 39-44.
5. Barrado J. A., Grino R. 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, pp. 1419-1424. doi: 10.1109/EPEPEMC.2006.4778602.
6. Vellapatchi Nayanar, Natarajan Kumaresan. Wind-driven Seig supplying DC microgrid through a single-stage power converter / *Engineering Science and Technology, an International Journal*. – 2016.
7. Hammadi S., Hidouri N., Sbita L. A DTC SEIG drive scheme for an isolated wind turbine buck system, "2013 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)", Hammamet, 2013, pp. 543-548. doi: 10.1109/CoDIT.2013.6689602
8. Кудря С. О. Дослідження роботи зарядного пристрою акумуляторної батареї від вітроагрегату / С. О. Кудря, В. І. Будько, В. Б. Павлов, А. В. Попов, В. Є. Павленко // Відновлюв. енергетика. – 2010. – № 4. – С. 5-10.

References

1. Krivtsov, V. S., Oleynikov, A.M. , Yakovlev, A.I. (2003). Neischerpemaya energiya. Kn. 1. Vetroeyeletrogeneratory [Inexhaustible energy. Book. 1. Wind turbine generators]. Khar'kov: Nats. Aerokosmyu un-t «KHar'k. aviats. in-t», Sevast., 400.
2. Mkhitaryan, N. M., Kudrya, S. A., Perminov, Y. N., Budennyu, V. F. (2010). Analiz nekotorykh osobennostey sinkhronnykh i asinkhronnykh generatorov, ispol'zuyemykh v kachestve avtonomnykh istochnikov energii [Analysis of some

features of synchronous and asynchronous generators used as autonomous energy sources]. Vidnovlyuv. Energetika, № 2, 7-9.

3. Golovko, V.M., Kokhanovich, V. P., Shikhaylov, N. A. and etc. (2017). Imitatsionnaya model' dlya analiza parametrov avtonomnykh vetroelektricheskikh ustanovok s asinkhronnym generatorom [Simulation model for analysis of parameters of autonomous wind power plants with an asynchronous generator]. Al'ternativnaya energetika i ekologiya (ISJAE), (4-6):42-52. DOI:10.15518/isjaee.2017.04-06.042-052.

4. Bryl', A. A., Vas'ko, P. F., Pekur, P.P. (1992) Sistema generirovaniya elektricheskoy energii na osnove asinkhronnykh mashin s korotkozamknutym rotorom dlya avtonomnykh vetroelektricheskikh ustanovok [Electric power generation system based on squirrel cage asynchronous machines for autonomous wind power plants]. Reguliruyemye asinkhronnyye dvigateli: sb. nauch. trudov. Kyiv: In-t elektrodinamiki AN Ukrainy, 39-44.

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

6. Vellapatchi Nayanar, Natarajan Kumaresan. (2016). Wind-driven Seig supplying DC microgrid through a single-stage power converter / *Engineering Science and Technology, an International Journal*.

7. Hammadi, S., Hidouri, N., Sbita, L. (2013). A DTC SEIG drive scheme for an isolated wind turbine buck system. *International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, Hammamet, 543-548.

8. Kudria, S. O., Budko, V. I., Pavlov, V. B., Popov, A. V. Pavlenko, V. Ie. (2010). Doslidzhennia roboty zariadnoho prystroiu akumuliatornoj batarei vid vitroahrehatu [Study of the battery charger from the wind turbine]. Vidnovliuv. Enerhetyka, 4, 5-10.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ АВТОНОМНОЙ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С АСИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОДЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

В. М. Головка, К. Р. Сандовал

Аннотация. *Использование автономных ветроэлектрических систем с асинхронным генератором за свою простоту конструкции, высокую надежность является одним из рациональных путей для электроснабжения удаленных от центральных систем потребителей. Использование асинхронной машины в качестве генератора требует подачи реактивной мощности к обмотке статора для самовозбуждения, что чаще всего осуществляется от*

блока конденсаторов. Целью исследований было проведение сравнительного анализа эффективности работы автономной ветроэлектрической системы с асинхронным генератором и импульсным преобразователем для зарядки аккумуляторных батарей по показателям, полученным на базе имитационного моделирования и эксперимента. Анализ показывает, что при изменении скважности от 0,2 до 0,9 асинхронная машина не теряет генераторный режим при изменении скорости ветра в диапазоне 0,95 - 0,75 от номинального значения. Расхождение значений, полученные экспериментальным путем и по модели, составляет от 3 до 5 %, что свидетельствует о ее адекватности.

Ключевые слова: ветроэнергетика, ветроустановка, импульсный преобразователь, зарядка аккумуляторной батареи

COMPARATIVE ANALYSIS OF EXPERIMENTAL AND SIMULATION OF THE AUTONOMOUS SIMULATION OF WIND POWER INSTALLATIONS WITH ASYNCHRONOUS GENERATORS USING PULSE DEVICE FOR CHARGING BATTERIES

V. M. Golovko, K. R. Sandoval

Abstract. *The use of autonomous systems with asynchronous wind generator for its simplicity of design, high reliability, is one of the efficient ways for remote power supply from the central system users. Asynchronous machine as generator reactive power demands submission to the stator winding for self-excitation, which is often made from block capacitors. The aim of study was a comparative analysis of the efficiency of wind power battery systems with asynchronous generator and pulse converter for charging batteries on indicators obtained on the basis of simulation and experiment. The analysis shows that by changing the duty cycle of 0.2 to 0.9 asynchronous machine loses generator mode by changing wind speeds in the range of 0.95 - 0.75 of the nominal value. The discrepancy between the values obtained by experiment and model, is between 3 and 5 %, indicating its adequacy.*

Key words: *wind power, wind turbines, switching converter, battery charging*