

УДК 621.311.4.031

О. М. Синчук, д-р техн. наук,  
С. М. Бойко

### ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ КОМПЛЕКС АВТОНОМНОЇ ВІТРОВОЇ МІНІЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ

**Анотація.** Зважаючи на особливості роботи електромеханічного комплексу автономної вітрової мініелектростанції в умовах підземних виробок залізорудних шахт, керування вихідними параметрами вітрової електромеханічного комплексу, пропонується здійснювати керування за допомогою комбінованого регулятора на базі нечітких множин. Використання цієї системи керування дозволить забезпечити стабільне та якісне електропостачання споживачів.

**Ключові слова:** вітровий електромеханічний комплекс, закон керування, нечіткі правила, нечіткий регулятор, база знань

O. Sinchuk, ScD.,  
S. Boiko

### ELECTROMECHANICS COMPLEX OF AUTONOMOUS WIND MINI POWER-STATIONS FOR EXPLOITATION IN THE CONDITIONS OF IRON-ORE MINES

**Abstract.** Because of features of work of electro mechanics complex of autonomous wind mini power-stations in the conditions of the underground making of iron-ore mines management by the initial parameters of wind electromechanics complex, it is suggested to carry out the management by the combined regulator on the base of fuzzy sets. The use of this control system will allow to provide stable and high-quality electro-supply of users.

**Keywords:** wind electro mechanics complex, control law, fuzzy rules, fuzzy-control, knowledge base

O. H. Синчук, д-р техн. наук,  
С. Н. Бойко

### ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АВТОНОМНОЙ ВЕТРОВОЙ МИНИЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ

**Аннотация.** Ввиду особенностей работы электромеханического комплекса автономной ветровой мини-электростанции в условиях подземных выработок железорудных шахт, управления исходными параметрами ветрового электромеханического комплекса, предлагается осуществлять управление с помощью комбинированного регулятора на базе нечетких множеств. Использование данной системы управления позволит обеспечить стабильное и качественное электроснабжение потребителей.

**Ключевые слова:** ветровой электромеханический комплекс, закон управления, нечеткие правила, нечеткий регулятор, база знаний

**Вступ.** Одним, поки що нереалізованим напрямком застосування вітроенергетичних установок (ВЕУ), зокрема мініелектростанцій, є чисельні підприємства гірничо-металургійної промисловості, які на даний час споживають більш 40 % електричної енергії від загально споживаних вітчизняною промисловістю обсягів [1]. Як приклад для реалізації ВЕУ в вищезгаданій галузі промисловості, можуть застосувати для автономного живлення залізорудні шахти.

Дослідження такого напрямку реалізації ВЕУ при умові вибору енергоефективного варіанту з відомих зразків показано, що достатньо енергоефективним є комплекс ВЕУ з асинхронним генератором (АГ) [2]. Між тим в даному випадку однією з проблем, що виникають при використанні АГ з конденсаторним збудженням в автономних системах електропостачання, є стабілізація напруги при змінній частоті обертів ротора та змінному навантаженні.

**Матеріал досліджень.** При керуванні вітровою енергетичною установкою доводиться мати справу з певною мірою невизначеними вихідними даними, параметрами системи. Так, вітроенергетичний агрегат працює за некерованим графіком.

При використанні АГ у складі ВМЕ, які експлуатуються в умовах залізорудних шахт, характерними умовами роботи є нестабільність обертання ротора АГ, в залежності від дії повітряного потоку на лопаті вітроколеса.

Важливою умовою підвищення техніко-економічних показників вітрових мініелектростанцій (ВМЕ) є відповідність характеристик вітроагрегату вітровому режиму. На даний час існує багато систем керування ВМЕ, які дозволяють працювати ВМЕ із нерегульованою швидкістю, забезпечуючи при цьому відбір максимальної потужності від вітроколеса шляхом регулювання моменту навантаження генератора [3, 4].

Необхідність розробки системи керування полягає головним чином у тому, щоб забезпечити споживачів

стабільною напругою з постійною частотою незалежно від зміни параметрів у будь-якій ланці системи. На шляху розробки цього питання вирішено, що лише мікропроцесорна система керування, що працює за спеціально створеним законом керування, здатна забезпечити постійні вихідні параметри ВМЕ. Структурна схема ВМЕ з системою керування зображена на рис. 1 [5, 6]. При нормальній роботі ВМЕ відбувається електропостачання споживачів Н і заряд АКБ.

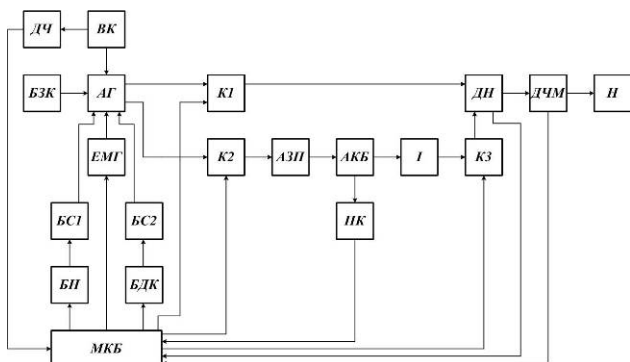


Рис. 1. Структурна схема автоматизованої системи керування асинхронним генератором у складі вітрової мініелектростанції

На рис. 1: ВК – вітрове колесо; АГ – асинхронний генератор з короткозамкнутим ротором; БЗК – батарея збуджуючих конденсаторів; ЕМГ – електромагнітне гальмо; ДН – датчик напруги; ДЧ – датчик частоти обертів ВК; ДЧМ – датчик частоти напруги мережі; АЗП – автоматичний зарядний пристрій; АКБ – акумуляторна батарея; ПК – пристрій контролю стану АКБ; І – інвертор; БДК – батарея додаткових конденсаторів; БН – баластне навантаження; БС1, БС2 – блок симісторів; МКБ – мікропроцесорний блок; К1-К3 – керовані комутатори; Н – навантаження.

При аварійній ситуації за допомогою відключення керованого комутатора К1 відбувається відключення навантаження Н від генератора АГ, а за допомогою комутатора К3 відбувається підключення навантаження до АКБ через інвертор І. Заряд АКБ через комутатор К2 відбувається дотой пори, поки пристрій контролю (ПК) стану АКБ не виявить несправності і не відключить АКБ від генератора [7, 8].

Недостатнє врахування всіх факторів, які впливають на різницю між відносними значеннями швидкості повітряного вентиляційного потоку в виробках та швидкості обертання вітроколеса ВМЕ, є суттєвим недоліком, що в свою чергу приводить до погіршення стійкості систем автоматичного керування, відхилення напруги на виводах ВМЕ. Врахування наведених факторів, які в свою чергу можуть змінюватися за складними залежностями та за великої кількості умов протягом певного часу, передбачає можливість зробити висновок щодо застосування математичного апарату нечітких множин для побудови моделі автоматичного регулятора.

Автоматичне керування ємнісним струмом передбачається здійснювати в два прийоми, використання кожного з них залежить від швидкості обертання вітрового колеса. Так, при швидкості обертання вітрового колеса, що входить в діапазон швидкостей для генерато-

рного режиму роботи асинхронного генератора, пропонується використовувати математичну модель регулятора з використанням нечіткої логіки, при інших швидкостях, що не входять до задуваного діапазону, достатньо використовувати ПІ-закон регулювання [9].

Відними величинами для системи керування було визначено: частота обертання вітрового колеса  $\omega_{ВК}$ , швидкість вітрового вентиляційного потоку  $u_{ВК}$ , похідна від змінного значення швидкості вітрового вентиляційного потоку  $du_{ВК}/dt$ , струм навантаження вітрової мініелектростанції  $I_n$ , вихідна напруга вітрової мініелектростанції  $U_{вих}$ .

Таким чином, використавши закон запропонований у роботі [1, 10] з врахуванням умов роботи ВМЕ в умовах підземних виробок ЗРШ із застосуванням АГ, закон керування ВЕУ буде мати наступний вигляд:

$$\Delta\omega = \begin{cases} |\omega(t) - \omega_{омп}| - k_u \cdot u_{в.п.}(t), & \text{якщо } \frac{du_{в.п.}}{dt} < 0, \\ |\omega(t) - \omega_{омп}| + k_u \cdot u_{в.п.}(t), & \text{якщо } \frac{du_{в.п.}}{dt} > 0, \end{cases}$$

$$U_{завод.}(t) = \begin{cases} k_\omega \cdot \Delta\omega + \int_0^T \Delta\omega dt; \\ \text{якщо } \omega_{ВК} \in [0; 0,9\omega_n] \cup [1,1\omega_n; 2\omega_n], \\ \text{fuzzy}(f_n, \omega_n, U_n, u_{в.п.}), \\ \text{якщо } U_{вих} \in [0,7U_n; 0,9U_n] \cup [1,1U_n; 1,3U_n], \end{cases}$$

$$\Delta U = U_{завод.}(t) - (U(t) - k_I I_n(t)),$$

$$I_{упр.сигн.}(t) = k_{роб} \cdot \left( k_u \cdot \Delta U + \int_0^T \Delta U dt \right), \partial e \begin{cases} \Delta U > 0, moI_{емн} \\ \Delta U < 0, moI_{БН} \end{cases}$$

$$k_{роб} = 1, \text{якщо } \omega(t) \geq \omega_{min}$$

$$k_{роб} = 0, \text{якщо } \omega(t) < \omega_{min}$$

Таким чином, з метою збільшення надійності функціонування системи керування ВМЕ у всьому діапазоні зміни швидкостей повітряного вентиляційного потоку пропонується застосування комбінації чіткого та нечіткого законів у вигляді двох каналів керування регулятора з переключенням між ними у функції швидкості обертання ВК.

**Висновки.** Основним завданням у створенні системи управління вихідними параметрами асинхронного генератора з короткозамкнутим ротором в складі ВЕУ, зокрема напругою, повинно бути забезпечення плавного регулювання напруги, реагуючи при цьому на найменші зміни швидкості повітряних потоків шляхом адаптації системи автоматичного керування ЕМК ВЕУ з комбінованим регулюванням, що дає змогу покращити якість керування за рахунок спрощення алгоритму керування, з врахуванням мікроклімату підземних виробок залізрудних шахт.

Розроблена математична модель та закон керування ємнісним струмом та баластним навантаженням ЕМК ВЕУ, а також структура системи автоматичного керування дозволяє плавно регулювати значення вихідного параметра – напруги, при цьому система буде відчувати найменші зміни швидкості вентиляційних потоків або величини навантаження.

### Список використаної літератури

1. Синчук О. М. Електромеханічний комплекс вітроенергетичної установки для використання в підземних виробках залізрудних шахт / О. М. Синчук, С. М. Бойко // *Восточно-европейский журнал передових технологій* – Харків : 2013. – № 1/8 (67). – С. 13 – 21

2. Elektrische Energi Eversorgung für Wagen der Reiszugwagenbauart: UIC 550, *UIC Codex*, 1969, 13 p.

3. Шефтер Я. И. Использование энергии ветра. – М. : Энергоатомиздат, 1983.– 200 с.

4. Datta R., and V.-T. Ranganathan, (2003), A Method of Tracking the peak Power Points for a Variable Speed wind Energy Conversion System, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 18, pp. 163 – 168, March 2003.

5. Moor G., and H. Beukes, (2004), Power point Trackers for wind Turbines, *Power Electronics Specialist Conference (PESC)*, pp. 2044 – 2049.

6. Nakamura T., Morimoto S., Sanada M., and Takeda Y. “Optimum Control of Ipmsg for wind Generation System,” *Power Conversion Conference (PCC)*, Vol. 3, pp. 1435 – 1440.

7. Wang Q., and Chang L.-C., (2004), An Intelligent Maximum Power Extraction Algorithm for inverter-based Variable Speed wind Turbine Systems, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 19, pp. 1242 – 1249, September 2004.

8. Koutroulis E., and Kalaitzakis K., (2006), Design of a Maximum Power Tracking System for Wind-Energy-Conversion Applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 53, April 2006.

9. Datta R., and Ranganathan V.-T., (2003), A Method of Tracking the Peak Power Points for a Variable Speed wind Energy Conversion System, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 18, pp. 163 – 168, March 2003.

10. Синчук О. Н. Патент України, МПК H02P9/00 Система керування асинхронним генератором у складі вітроелектротехнічного комплексу / О. Н. Синчук, Д. А. Михайличенко, С. М. Бойко, М. А. Щербак; патент України № 84633, заява № u201305538 від 29.04.2013, опубл. 25.10.2013. Бюл. № 20, 2013 р.

Отримано 10.07.2014

### References

1. Sinchuk O.N., and Boiko S.M. Elektromehanichniy kompleks vitroenergetichnoyi ustanovki dlya vikoristannya v pidzemnih virobkah zalizorudnih shaht [There is an Electromechanics Complex of Wind-Energy Complex the use in the Underground Making of Iron-Ore Mines ], (2013), *Vostochno-Evropeiskii Zhurnal Peredovykh Tekhnologii. Energoberegayushchie Tekhnologii i Oborudovanie Publ.*, Kharkov, Ukraine, Vol. 1/8(67), pp. 13 – 21 (In Ukraine)

2. Elektrische Energi Eversorgung für Wagen der Reiszugwagenbauart: UIC 550, *UIC Codex*, 1969, 13 p.

3. Shefter Ya.I. Ispolzovanie energii vetra [Use of Energy of Wind], (1983), Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat*, 200 p. (In Russian).

4. Datta R., and Ranganathan V.-T., (2003), A Method of Tracking the Peak Power Points for a Variable Speed wind Energy Conversion System, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 18, pp. 163 – 168, March 2003.

5. Moor G., and Beukes H., (2004). Power Point Trackers for wind Turbines, *Power Electronics Specialist Conference (PESC)*, pp. 2044 – 2049.

6. Nakamura T., Morimoto S., Sanada M., and Takeda Y., (2002), Optimum Control of imps for wind Generation System, *Power Conversion Conference (PCC)*, Vol. 3, pp. 1435 – 1440,

7. Wang Q., and Chang L.-C., (2004), An Intelligent Maximum Power Extraction Algorithm for Inverter-Based Variable Speed wind Turbine Systems, *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 19, pp. 1242 – 1249, September 2004.

8. Koutroulis E., and Kalaitzakis K., (2006), Design of a Maximum Power Tracking System for Wind-Energy-Conversion Applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 53, April 2006.

9. Datta R., and Ranganathan V.-T., (2003), A Method of Tracking the Peak Power Points for a Variable Speed wind Energy Conversion System, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 18, pp. 163 – 168, March 2003.

10. Sinchuk O.N., Mihaylichenko D.A., Boiko S.M., and Scherbak M.A. Patent Ukraine, MPK H02P9/00 Sistema keruvannya asinhronnim generatorom u skladi vitroelektrotehnichnogo kompleksu [Control the System by an Aasynchronous Generator is in Composition a Wind-Energy Complex] /; patent Ukraine 84633, заява #u201305538 від 29.04.2013, Opubl. 25.10.2013. Byul. 20, 2013 (In Ukrainian)



Синчук  
Олег Николаевич, д-р техн. наук,  
проф., зав. каф. автоматизированных  
электромеханических систем в про-  
мышленности и транспорте ГВУЗ  
«Криворожский нац. ун-т», Украина.  
г. Кривой Рог ул. XXII партсъезда, 11,  
E-mail: speet@ukr.net



Бойко  
Сергей Николаевич, аспирант каф.  
систем электропотребления и энерге-  
тического менеджмента Кременчуг-  
ского нац. ун-та имени Михаила Ост-  
роградского, ул. Первомайская, 20,  
39600, г. Кременчуг, Украина.  
E-mail: bsn1987@i.ua