

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Чумак В.В., Коваленко М.А., Коваленко І.Я.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ
chumack_kpi@ukr.net
kovalenko_ma@i.ua
2048141@ukr.net

Проведено аналіз існуючих конструктивних виконань електромеханічних перетворювачів енергії для вітроенергетики, а саме для вітрогенераторів. Аналіз виконано на основі літературно-патентного пошуку, в т.ч. і в закордонних виданнях із метою показу актуального стану проблеми та розвитку цієї галузі науки і техніки. *Ключові слова:* вітрогенератор, електрогенератор, перетворення енергії.

Аналитический обзор электромеханических преобразователей энергии для ветровой энергетики. Чумак В.В., Коваленко М.А., Коваленко И.Я. Проведен анализ существующих конструктивных исполнений электромеханических преобразователей энергии для ветроэнергетики, а именно для ветрогенераторов. Анализ выполнен на основе литературно-патентного поиска, в т.ч. и в зарубежных изданиях с целью показать актуальное состояние проблемы и развития данной отрасли науки и техники. *Ключевые слова:* ветрогенератор, электрогенератор, преобразования энергии.

Analytical review of electromechanical energy converters for wind power. Chumak V.V., Kovalenko M.A., Kovalenko I.Ya. An analysis of existing design modifications of electromechanical energy converters for wind power engineering, specifically for wind turbines, has been carried out. The analysis was performed on the basis of a literary-patent search, including and in foreign publications in order to show the actual state of the problem and the development of this branch of science and technology. *Key words:* wind generator, electric generator, energy conversion.

Використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії нині є актуальним напрямом розвитку сучасної науки і техніки. Запаси природних ресурсів (нафти, газу та вугілля) зменшується щороку, а використання збільшується. Цим напрямом займаються провідні вчені, дослідники та ентузіасти в багатьох країнах світу. Особливий інтерес до нетрадиційних джерел енергії виявляє населення, особливо та частка, що знаходиться в зонах, віддалених від центрального електропостачання, іншими словами, в зонах без електрифікації. Енергію, що отримується при роботі альтернативних джерел енергії, можна використовувати як для постійного енергопостачання, так і для резервного енергопостачання, що особливо зручно для котеджних селищ, невеликих населених пунктів або стратегічних об'єктів.

Україна є однією з країн, що має значний відновлювальний потенціал, у тому числі і енергією вітру. Застосування енергії вітру останнім часом отримує дедалі більше поширення як у роботах вітчизняних вчених, так і в розробках зарубіжних винахідників.

Тому актуальним є використання енергії вітру для побутових та промислових потреб. Для цього використовуються вітрогенератори, основу енергоперетворення яких становить електричний

генератор. У цій статті проведено аналіз типів електричних генераторів, що використовуються в вітроустановках із метою виявлення актуального стану досліджень у цій області та вибору найбільш перспективного та високо енергетичного конструктивного виконання електрогенератора для перетворення енергії вітру.

У разі використання класичної теорії електромеханіки (електричних машин) генератори для вітроустановок класифікуються таким чином:

- 1) асинхронні генератори (АГ);
- 2) синхронні генератори (СГ);
- 3) генератори постійного струму (ГПС).

Асинхронні генератори. Приклад АГ показано на рис. 1. Конструктивно АГ не відрізняються від класичного асинхронного двигуна: на статорі розміщені трифазна обмотка, ротор, виготовлений у вигляді білячої клітки, вилитої з алюмінію. Головною умовою для роботи асинхронної машини в режимі генератора є розгін ротора до швидкості, що перевищує швидкість обертання магнітного поля трифазної обмотки статора.

АГ широко використовуються для вітрогенераторів та мікрогідроелектростанцій. АГ мають просту конструкцію, високий ККД (75–88%), не потребують регулярного технічного обслуговування, що визначає



Рис. 1. Асинхронний генератор

їхню високу надійність та безвідмовність у роботі. АГ є безконтактною електричною машиною.

Основним недоліком АГ є те, що для його збудження (створення основного магнітного потоку) необхідна наявність стороннього джерела реактивної потужності. Цю функцію, як правило, виконує батарея конденсаторів. До недоліків АГ належить необхідність монтажу підвищувача редуктора, оскільки для вітроустановок використовуються АГ із номінальною частотою обертання 1 000–3 000 об/хв.

Синхронні генератори. Конструктивно статор СГ не відрізняється від АГ: корпус, шихтоване магнітне осердя, в пазах якого розміщується багатофазна обмотка. Всі відмінності в конструкції СГ, що використовуються для перетворення енергії вітру, визначаються конструктивним виконанням ротора і поділяються на два основних типи: 1) СГ із постійними магнітами на роторі (збудження від постійних магнітів); 2) СГ з обмоткою збудження на роторі (електромагнітне збудження); 3) ГС комбінованого типу, що збуджуються і від постійних магнітів на роторі і використовують додаткову підмагнічуючу обмотку (магнітоелектричні генератори). Варіанти конструктивних виконань СГ показано на рис. 2.

Перший тип СГ є найбільш поширеним і активно використовується при конструюванні вітроустано-

вок. Він відрізняється простотою конструкції, технологічністю, високою надійністю. Головний недолік – відсутність можливості регулювати величину вихідної напруги.

У СГ другого типу на роторі розміщена обмотка, живлення якої відбувається за допомогою контактних кілець зі щітками. Генератори цього типу менш надійні, потребують регламентного технічного обслуговування, але дають змогу регулювати вихідну напругу в широких межах і працювати з будь-яким cosφ.

СГ третього типу є безконтактними генераторами і поєднують у собі переваги першого та другого типу СГ, але мають складнішу конструкцію, технологію виготовлення та вищу вартість.

СГ із постійними магнітами відрізняються високим ККД 60–95%, вони не потребують контролера (на відміну від синхронного двигуна із постійними магнітами), вся потужність, вироблена СГ, випрямляється і використовується для заряджання акумуляторної батареї.

Генератори постійного струму. Конструктивно ГПС не відрізняється від класичної електромашини постійного струму (рис. 3). Статор виконується як з обмоткою збудження, так і зі збудженням від постійних магнітів. Ротор має класичну конструкцію, що являє собою шихтоване магнітне осердя з багатосекційною обмоткою якоря та колектор зі щітковим апаратом. Використання машини постійного струму забезпечує легкий перехід від режиму двигуна до генератора, на виході такого генератора отримується постійний струм із мінімальною пульсацією, це дає змогу відмовитись від випрямляча із фільтром і безпосередньо заряджати акумуляторну батарею.

ГПС здебільшого використовуються для вітроустановок у приватних будинках, що пояснюється їх доступністю та відсутністю необхідності обладнати таку вітроустановку редуктором. ГПС мають задовільне значення ККД, що знаходиться в межах 70%. Недоліком таких генераторів є наявність щіткового контакту, що знижує надійність та потребує технічного обслуговування.

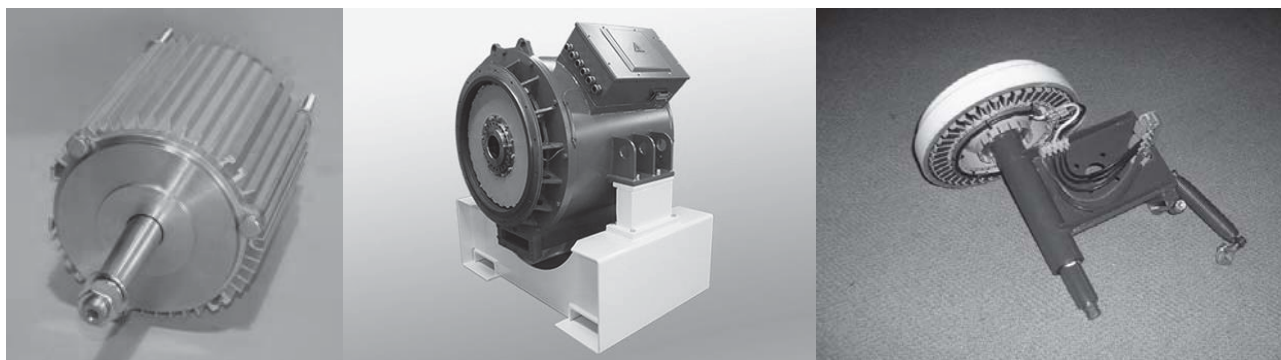


Рис. 2. Конструктивні виконання СГ для вітроустановок

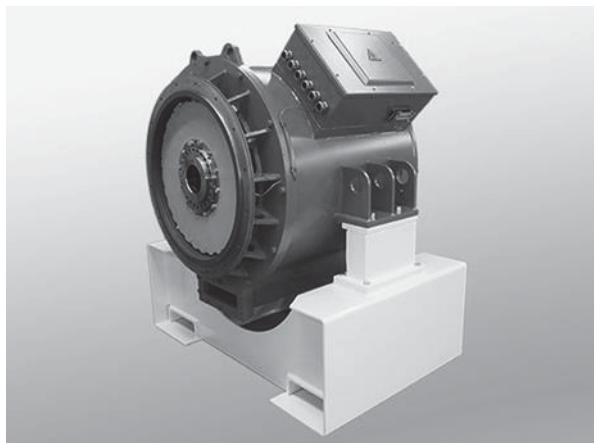


Рис. 3. ГПС для вітрогенератора

Якщо використовувати генетичну класифікацію первинних джерел електромагнітного поля [1], то можна виділити такі типи джерел поля та їхні просторові інтерпретації:

Клас циліндричних генераторів для вітроустановок (ЦЛ 0.0 у; ЦЛ 0.2 у; ЦЛ 2.2 у);

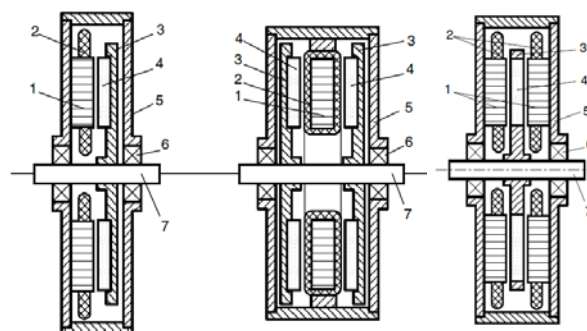
Клас торцевих генераторів для вітроустановок (ТП 0.0 у; ТП 0.2 у; ТП 2.2 у);

Клас плоских генераторів для вітроустановок (ПЛ 0.0 х; ПЛ 2.0 х; ПЛ 2.2 х);

Клас сферичних генераторів для вітроустановок (СФ 0.0 у; СФ 0.0 х; СФ 0.2 у; СФ 2.0 х; СФ 2.2 у; СФ 2.2 х).

У результаті патентного та літературного пошуку знайдено інформацію про електрогенератори для вітроустановок кожного класу та типу [2–6]. Загальний вигляд таких генераторів із зазначенням його класу наведено на рис. 4.

Представлені в літературі та патентах зразки відрізняються конструктивним виконанням та різнома-



а) б) в)

Рис. 5. Конструктивні виконання класу торцевих електрогенераторів (ТП 0.2 у)

1 – осердя статора, 2 – обмотка статора, 3 – ротор, 4 – постійні магніти, 5 – корпус, 6 – підшипникові вузли, 7 – вал

нітними технічними рішеннями, серед яких можна виділити кілька типових виконань, що показані на рис. 5 на прикладі класу торцевих електричних генераторів [3; 4].

На рис. 5а показано одностороннє виконання торцевого генератора; на рис. 5б – двостороннє виконання; рис. 5в – торцевий генератор із дисковим ротором.

Загальний результат літературного пошуку електромеханічних перетворювачів енергії для вітроустановок показано на рис. 6 у вигляді блок-схеми. Нині як генератори для вітроустановок доцільно використовувати клас циліндричних електричних генераторів та торцевих. Використання торцевого генератора дає змогу відмовитись від застосування редуктора в вітроустановці. Це пояснюється тим, що такі генератори мають порівняно меншу осьову довжину і більший діаметр. У результаті такий гене-



Рис. 4. Класифікація генераторів для вітроустановок за типом джерела електромагнітного поля

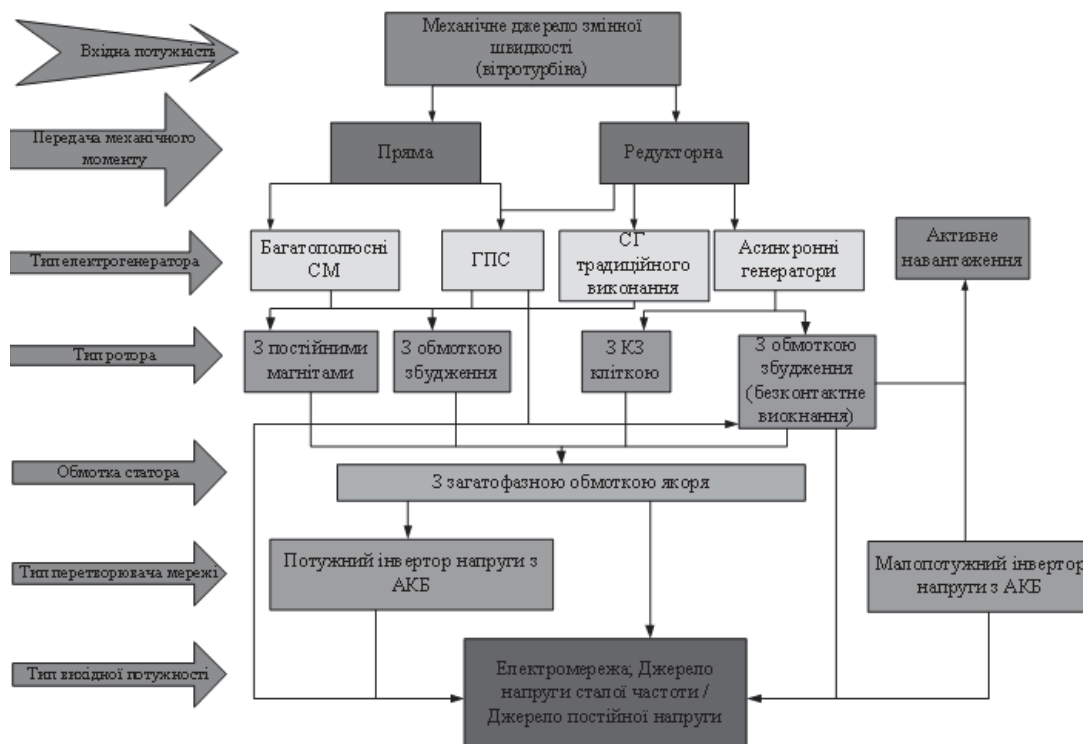


Рис. 6. Різноманітні типи перетворювачів енергії для вітроустановок

ратор проектується в багатополосному виконанні на невисоку швидкість обертання. З метою збудження такого генератора доцільно використовувати постійні магніти на основі рідкоземельних матеріалів. Таке рішення дасть змогу суттєво зменшити габарити такого генератора, підвищити його питому потужність та надійність.

Головні висновки. В результаті літературно-патентного пошуку визначено область існування електромеханічних перетворювачів енергії для систем перетворення енергії вітру. Показано, що економічно доцільно використовувати для таких систем синхронні генератори з постійними магнітами циліндричного або торцевого типу.

Література

1. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. К.: Наукова думка, 2002. 288 с.
2. Чумак В.В. Цепи – полева модель магнітоелектричного синхронного торцевого генератора для автономних енергоустановок / В.В. Чумак, О.Лі. Тимошук, Е.А. Монахов. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 2015. № 2(41). С. 29–32.
3. Монахов Е.А. Моделирование процесса управления торцевым магнитоэлектрическим генератором / Е.А. Монахов, В.В. Чумак. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 2015. № 42(1151). С. 39–43.
4. Чумак В.В. Исследование вопросов выбора постоянных магнитов в торцевом магнитоэлектрическом генераторе / В.В. Чумак, Е.А. Монахов. Гідроенергетика України. 2015. № 4. С. 35–37.
5. Чумак В.В. Управление магнитоэлектрическим генератором с аксиальным потоком / В.В. Чумак, Е.А. Монахов. Технічна електродинаміка. 2015. № 4. С. 35–37.
6. Чумак В.В. Компактний однофазний синхронний магнітоелектричний мікрогенератор з постійними магнітами для мобільного енергокомплексу, працюючого в польових умовах / В.В. Чумак, Е.А. Монахов. Сучасні проблеми автоматики та електротехніки: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю (Миколаїв, 22–24 квіт. 2015 р.) М-во освіти і науки України, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, 2015. С. 34–72.
7. Васильо 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.
8. Коханевич В.П., Перминов Ю.Н., Шихайлов Н.А., Марченко Н.В. Разработка и испытание генераторов с постоянными магнитами для ветроустановок на базе серийных асинхронных двигателей. Альтер. енергет. и экология. 2012. № 7. С. 48–55.