

СЕГЕДА МИХАЙЛО

Національний університет «Львівська політехніка»  
<https://orcid.org/0000-0001-8459-5758>  
e-mail: [mseheda@ukr.net](mailto:mseheda@ukr.net)

СІКОРСЬКА ОЛЕНА

Вінницький національний технічний університет  
<https://orcid.org/0000-0001-7341-9724>  
e-mail: [olenasikorska@ukr.net](mailto:olenasikorska@ukr.net)

ДУДУРИЧ ОЛЕКСАНДРА

Репетиторський онлайн-центр ON-TUTORS

РОМАНІВ СТАНІСЛАВ

REC security LLC

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГОЛОВНИХ СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ СУЧАСНИХ МЕРЕЖЕВИХ ВІТРОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ПІД ЧАС ВИБОРУ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ В РОБОТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Розглянуто питання застосування головних схем електричних з'єднань у сучасних електромережах під час вибору та обгрунтування основних характеристик вітрових електричних установок для інтеграції в роботу енергосистем. Описано сучасні системи вітрових електричних установок різного призначення та їх класифікацію за основними параметрами. Розглянуто основні компоненти вітрових електричних установок, їх конструкцію та призначення. Проведене дослідження структури та особливостей застосування електричних з'єднань сучасних мережеских вітрових електричних установок. Описано 8 різних конфігурацій вітрових електричних установок з укомплектуванням різними типами генераторів, з використанням приводу і без, з конденсаторами, з перетворювачами частини номінальної потужності і всієї номінальної потужності генераторів.

Ключові слова: асинхронний генератор з короткозамкненим ротором (АГКЗР), асинхронний генератор з фазним ротором (АГФР), асинхронний генератор з подвійним живленням (АППЖ), вітрова електрична станція (ВЕС), вітроелектрична установка змінної швидкості обертання (ВЕУ ЗШО), вітроелектрична установка постійної швидкості обертання (ВЕУ ПШО), електроенергетична система (ЕЕС), електрична мережа (ЕМ), синхронний генератор з перетворювачем номінальної частоти (СГ ПНЧ).

SEGEDA MYKHAILO

Lviv Polytechnic National University

SIKORSKA OLENA

Vinnytsia National Technical University

DUDURYCH OLEXANDRA

Online tutoring center ON-TUTORS

ROMANIV STANISLAV

REC security LLC

## FEATURES OF THE APPLICATION OF THE MAIN DIAGRAMS OF ELECTRICAL CONNECTIONS OF MODERN NETWORKED WIND POWER PLANTS DURING THE SELECTION AND JUSTIFICATION OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF THE WIND ELECTRIC PLANT FOR INTEGRATION IN THE WORK OF ELECTRICAL ENERGY ISSUE

The paper discusses the application of main electrical connection schemes in modern power grids when choosing and justifying the key characteristics of wind power plants for integration into power systems. It describes modern wind power systems of various purposes and their classification based on the key parameters. The main components of wind power plants, their design, and purpose are considered. The research investigates the structure and features of electrical connections in modern grid-connected wind power plants. It describes eight different configurations of wind power plants with different types of generators, with and without a gearbox, with capacitors, with converters for partial and full-rated power of the generators. In the work, the selection and justification of the main characteristics of modern wind turbine systems for integration into the operation of electric power systems is carried out. With: a study of the specifics of the structural and functional composition of modern wind turbine systems was carried out. It was established that the degree of development and cost of power electronics will continue to play a key role in the selection of optimal schemes for the technical connection of WPPs to UES networks; conducted a study of the structure and features of the application of the main schemes of electrical connections of modern network wind power stations. It has been established that the main driving forces for the development of wind turbine technology can be the technical requirements of system operators for connecting wind turbines/wind turbines to the grid, as well as the cost of the electricity produced by them (including the reliability of wind turbines); the selection and substantiation of the main characteristics of modern systems of wind energy installations for integration into the operation of electric power systems was carried out. The structure, characteristics and component schemes of electrical connections of wind power plants are determined by the unit capacity of the wind power plant, their number, location on the terrain, and the type of used wind turbine power generation system. Depending on these parameters, the scheme of electrical connections of the wind turbine to the EM can be made according to the main, radial or mixed principle.

Key words: squirrel cage induction generator (SCIG), wound rotor induction generator (WRIG), doubly fed induction generator (DFIG), wind power plant (WPP), variable speed wind turbine (VSWT), fixed speed wind turbine (FSWT), power grid (PG), electrical network (EN), synchronous generator with nominal frequency converter (SGNFC).

### Постановка проблеми

Вибір конфігурації системи вітроелектричної установки (ВЕУ) та прогнозований виробіток електричної енергії нею є одними з ключових питань, які постають в процесі проектування та експлуатації вітрових електричних станцій (ВЕС). На даний час є досить широкий вибір ВЕУ серед іноземних виробників [18 – 29]. Це дозволяє краще підібрати тип ВЕУ для забезпечення необхідних вимог.

Сучасні системи ВЕУ призначені для двох різних цілей:

1) для отримання механічної енергії: для приводу механічних млинів, водяних pomp, підігрівачів води тощо;

2) для отримання електричної енергії, які поділяються на:

➤ мережеві ВЕУ мегаватного класу, що працюють в складі електроенергетичних систем (ЕЕС);

➤ приватні, робота яких буде спрямована на часткову електрифікацію об'єктів, які не мають доступу до електроенергетичної мережі (ЕМ), та інші господарські потреби.

У зв'язку з низкою переваг мережевих ВЕУ мегаватного класу перед приватними ВЕУ використання перших розвивається прискореними темпами. Однак у зв'язку з великим різноманіттям конструкцій сучасних потужних ВЕУ, представлених на світовому ринку, з одного боку, і специфічними вимогами до розміщення установок на місцевості, з іншого боку, головні схеми електричних з'єднань ВЕС також відрізняються різноманіттям, крім технічної сторони визначаються місцевими кліматичними умовами і ландшафтом.

Різноманіття конфігурацій систем ВЕУ пов'язано насамперед у використанні провідними виробниками декількох типів генераторів електричної енергії, які, в свою чергу, висувають різні вимоги як до систем управління і комплексів регулювання в цілому, так і до наявності або відсутності додаткових ступенів перетворення електричної енергії перед підключенням до ЕМ.

На відміну від традиційних електростанцій з досить компактним розташуванням первинних і вторинних перетворювачів енергії, ВЕС в залежності від встановленої потужності можуть займати значні площі з розташуванням окремих ВЕУ на різному рівні по вертикалі і протяжністю від сотень метрів до декількох десятків кілометрів. З урахуванням досить значних одиничних потужностей сучасних ВЕУ (від 1 до 5 МВт і вище) таке положення обумовлює необхідність застосування проміжних ступенів трансформації електричної енергії для зниження рівня електричних втрат.

### Виклад основного матеріалу

**Метою статті** є проаналізувати основні фактори застосування головних схем електричних з'єднань в сучасних ЕМ під час вибору та обґрунтування основних характеристик ВЕУ для інтеграції в роботу ЕЕС.

**Класифікація сучасних систем ВЕУ за основними параметрами.** ВЕУ прийнято класифікувати за різними параметрами [2, 3, 6, 7, 14], серед яких можна виділити наступні [2, 3, 6, 7, 13, 14, 15]:

- за призначенням;
- за положенням осі обертання;
- за потужністю;
- за з'єднанням вітроколеса (ВК) з електрогенератором;
- за типом генератора тощо.

На рис. 1 наведені основні компоненти сучасної ВЕУ [2, 3, 6, 7, 13, 14].

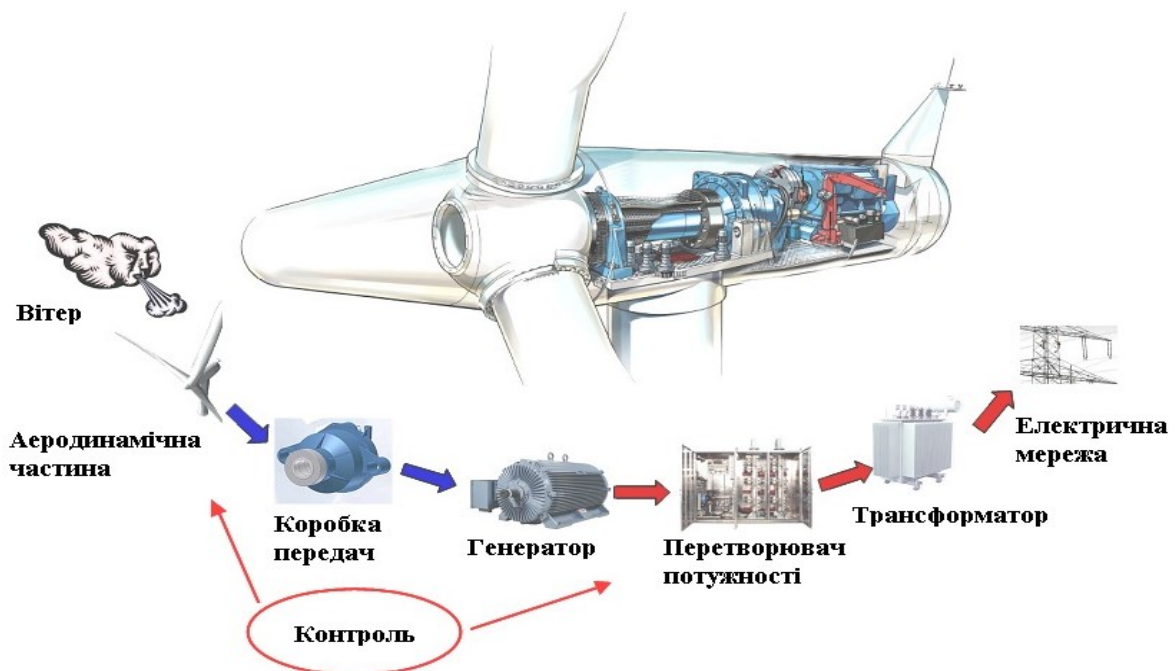


Рис. 1. Конструкція сучасної вітроелектричної установки

Кожна ВЕУ, незалежно від того, чи працює вона окремо чи як ВЕС, складається з наступних компонентів:

- баштова конструкція – найбільша частина ВЕУ, яка складається з башти та гондоли, де встановлено механізм повороту, а також генератор, редуктор (чи коробка передач) та перетворювач потужності;

- ротор з лопатями, що прикріплені до втулки. Найпоширеніший тип ротора ВЕУ є трилопатевий. Основний фактор ротору визначається його стрілоподібною площею. У сучасних ВЕУ з великою площею обертання також для регулювання можуть обертатися лопаті;

- вал з механічною передачею. Конструкція цього елемента не є складною. Основною частиною механічної передачі є редуктор (коробка передач). Даний механізм застосовується для підвищення повільного обертання ротора на більш швидкісне потрібне обертання генератора ВЕУ;

- електричний генератор. У сучасних ВЕУ застосовуються два типи трифазних генераторів: синхронний і асинхронний. На сьогоднішній день найбільш поширеним є асинхронний генератор (АГ), хоч і синхронний – також продовжує застосовуватися. АГ може працювати з низькою швидкістю обертання, навіть і без редуктору (коробки передач) і дозволяє виконувати контроль активної та реактивної потужностей. Асинхронний генератор може бути з короткозамкненим ротором (АГКЗР), який не потребує додаткового живлення та має вищі фізико-електричні характеристики перехідних процесів. Відносно новим є асинхронний генератор з подвійним живленням (АГПЖ). Це дозволяє передавати енергію в двох напрямках, що дозволяє виконувати оптимізацію вихідної потужності (можна виконати зміну швидкості обертання вала генератора відповідно до зміни швидкості вітру), а обертання ротора ВЕУ використовувати як запас енергії, а також виконати пасивне регулювання генерованої енергії без використання конденсаторних батарей;

- поворотний механізм, який дозволяє узгодити положення ВЕУ з відповідним напрямком потоку вітру. Цей механізм взаємодіє з анемометрами та датчиками керування (з контролером зупинки);

- перетворювач потужності з силовою електронікою та датчиками керування. Ця система відповідає за перетворення потужності, вимірювання і контроль основних параметрів ВЕУ.

*Дослідження структури та особливостей застосування головних схем електричних з'єднань сучасних мережевих ВЕС. Підключена ВЕУ, як і всі пристрої, що підключені до ЕМ, більшою чи меншою мірою, впливає на якість електроенергії. Також розташування ВЕУ в районах зі сприятливими вітровими умовами не є доцільним, якщо в наявності є слабо розвинена електрична мережа. Тим не менш, ВЕУ повинні підключатися одним із кількох наступних способів:*

- одинарна ВЕУ з потужністю до 300 кВт може бути підключена до лінії низької напруги (НН). Таке підключення призначене для невеликих побутових споживачів;

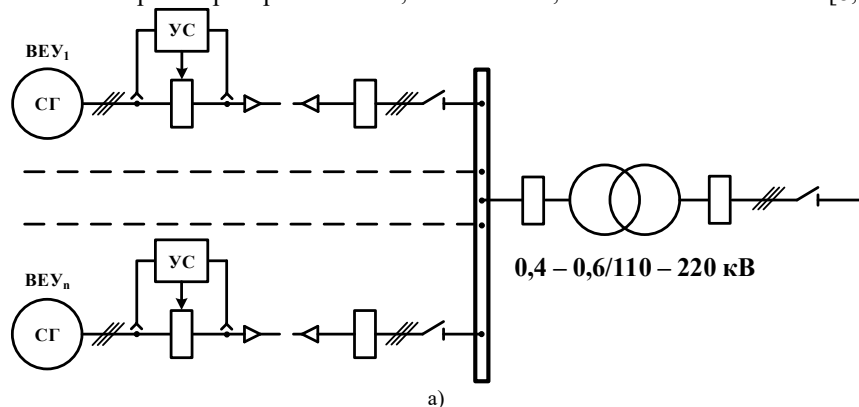
- ВЕС з номінальною потужністю від 2 до 5 МВт може бути підключена до існуючої лінії СН. При такому способі підключення відстань між ВЕС та точкою підключення складає не більше 20 км;

- у випадку коли лінія середньої напруги (СН) занадто слабка для ВЕС (номінальна потужність – від 10 до 40 МВт), то її можна підключити до шин СН найближчої підстанції високої/середньої напруг окремою лінією електропередач (ЛЕП). При цьому ВЕС буде мати менший вплив на місцеву якість електроенергії. Відстань також має бути не більше 20 км між ВЕС та ПС;

- ВЕС з номінальною потужністю до 100 МВт може бути підключена до шин високої напруги (ВН) на найближчій підстанції ВН/СН власною лінією електропередач за допомогою власного трансформатора ВН/СН. Застосування власного трансформатора ВН/СН є найвитратнішим рішенням;

- ВЕС з номінальною потужністю 0,5 ГВт може бути з'єднана з ЕМ кабельною лінією (КЛ) і з перетворювачем постійного/змінного струму. Такий спосіб є звичайним для великих берегових ВЕС. Застосування даного способу дозволяє передавати електроенергію на відстані більше 50 км. Інвестиційна вартість такого проекту є високою, але дозволяє побудувати великі ВЕС на значній відстані від узбережжя.

На рис. 2 (а – в) наведені варіанти радіальних схем електричних з'єднань ВЕС малої потужності з ВЕУ з різними типами електрогенераторів: а – з СГ; б – з АГКЗР; в – з АГ або СГ і ПНП [8, 18].



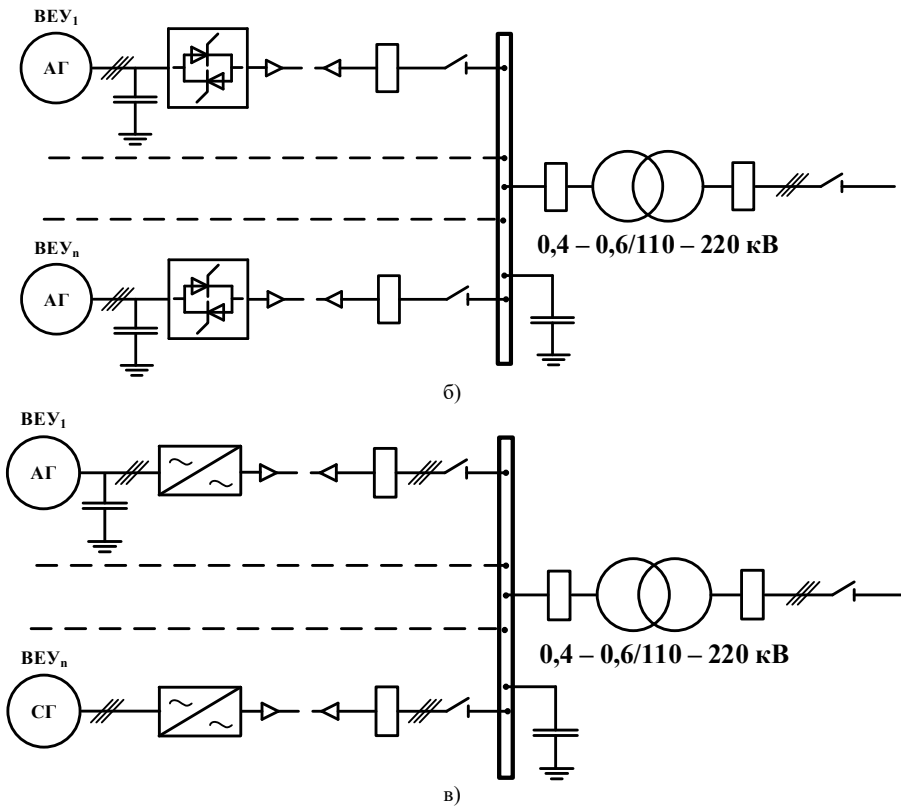
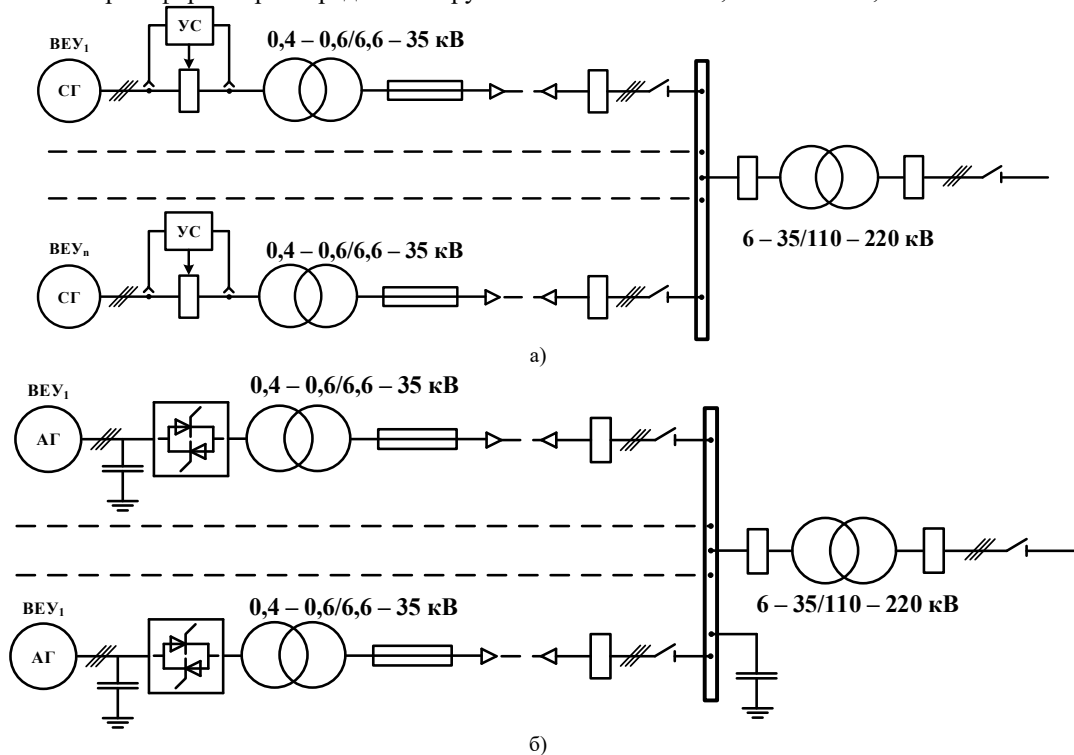


Рис. 2. Радіальні схеми електричних з'єднань ВЕС малої потужності з ВЕУ з різними типами електрогенераторів: а – з СГ; б – з АГКЗР; в – з АГ або СГ і ПНП

На рис. 3 (а – в) наведено схеми електричних з'єднань ВЕС, побудовані за радіальним принципом з використанням трансформаторів середньої напруги біля ВЕУ: а – з СГ; б – з АГКЗР; в – з АГ або СГ і ПНП



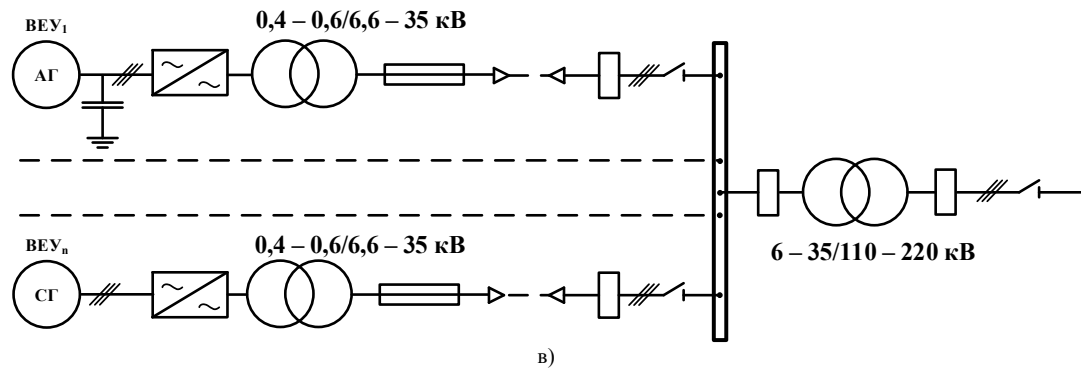


Рис. 3. Схеми електричних з'єднань ВЕС, побудовані за радіальним принципом з використанням трансформаторів середньої напруги біля ВЕУ: а – з СГ; б – з АГКЗР; в – з АГ або СГ і ПНП

За сприятливої геометрії рози вітрів може спостерігатися підключення декількох ВЕУ на один підвищувальний трансформатор середньої напруги (рис. 4).

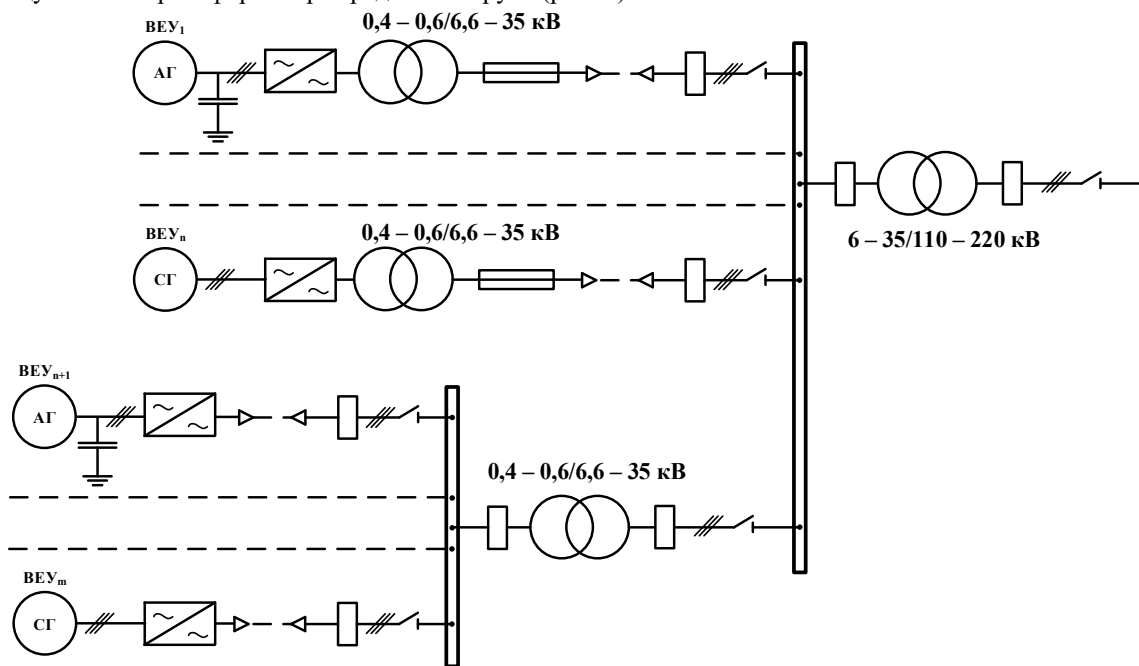


Рис. 4. Схема підключення декількох ВЕУ на один підвищувальний трансформатор середньої напруги

Слід відзначити, що застосування ВЕУ з різними за принципом дії і конструкцією електричних генераторів спостерігається в основному при модернізації або розширенні діючих ВЕС. На рис. 3 – 4 зображено різні генератори, як можливі варіанти для відповідних схем електричних з'єднань. У нових ВЕС за експлуатаційними міркуваннями використовуються ВЕУ однакової конструкції, типу і однієї потужності [8 – 0].

Незалежно від способу підключення ВЕС, вона буде спричиняти в ЕМ більші чи менші коливання потужності. Слід відзначити, що у світі найпоширенішим рішенням є підключення ВЕС до ліній СН, що, в свою чергу, породжує значну кількість перешкод. До цих перешкод можна віднести: коливання амплітуди напруги і частоти, виникнення вищих гармонік напруги та струму, збільшення струмів короткого замикання, втрат активної потужності тощо. Основна причина таких перешкод пов'язана з постійно-змінною нерівномірністю швидкості вітру, а також з наявністю випрямлячів та інверторів.

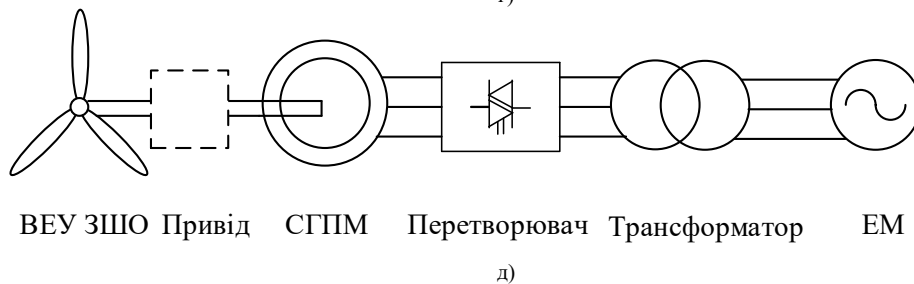
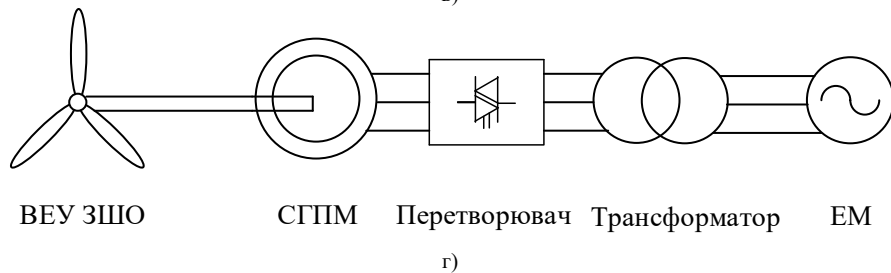
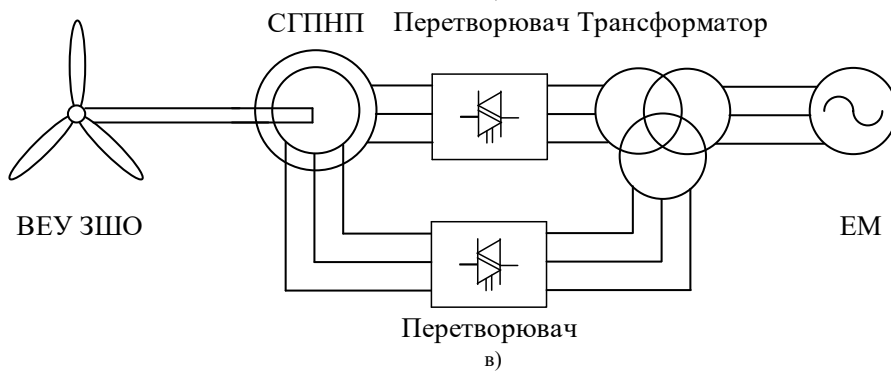
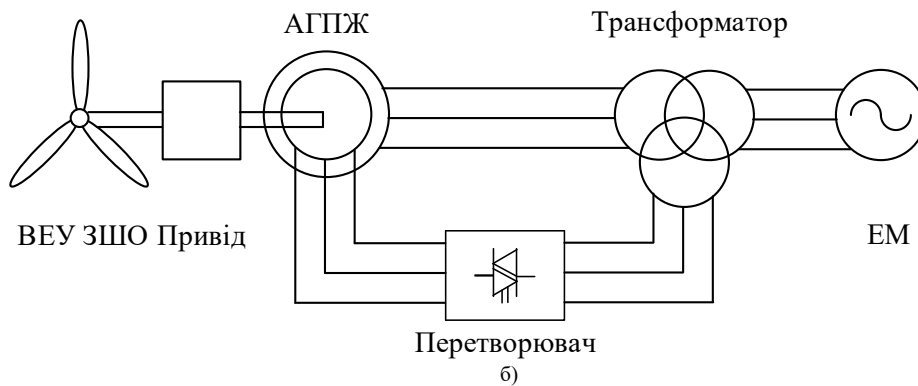
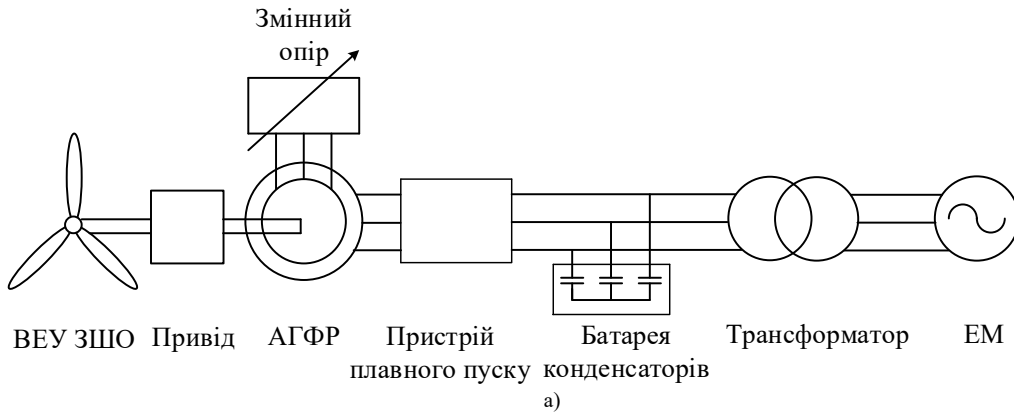
Але слід відзначити і переваги ВЕС, які пов'язані з можливістю регулювання активної та реактивної потужностей під час нормальної та критичної роботи ЕМ. Переваги пов'язані з типом встановлених генераторів: АГКЗР не дозволяє значно регулювати реактивну потужність (регулюванням напруги) на відміну від використання АППЖ і СГ. Однак все це залежить від швидкості вітру у відповідний момент регулювання.

*Вибір та обґрунтування основних характеристик сучасних систем вітроенергетичних установок для інтеграції в роботу електроенергетичних систем. У літературі описано 8 різних конфігурацій ВЕУ з укомплектуванням різними типами генераторів, з використанням приводу і без, з конденсаторами, з перетворювачами частини номінальної потужності і всієї номінальної потужності генераторів [1, 5, 11, 17].*

Найпростішою схемою СГЕЕ ВЕУ є СГЕЕ ВЕУ ПШО з АГКЗР, але в багатьох роботах доведено, що вищезазначені схеми не є доцільними для використання в промислових масштабах [0, 6, 0, 16].

Схема СГЕЕ ВЕУ ЗШО повинна забезпечувати перетворення змінної енергії за швидкістю обертання валу ВК в електричну енергію з постійною за частотою і амплітудою напругою. На сьогоднішній день найбільшого поширення знайшли наступні схеми СГЕЕ ВЕУ ЗШО [2, 3, 7, 14]:

- СГЕЕ ВЕУ ЗШО з АГФР та змінним опором (рис. 5 а);
- СГЕЕ ВЕУ ЗШО з АГПЖ (рис. 5 б);
- СГЕЕ ВЕУ ЗШО з ПНП (можуть бути укомплектовані СГПМ, СГФР, АГФР) (рис. 5 в).



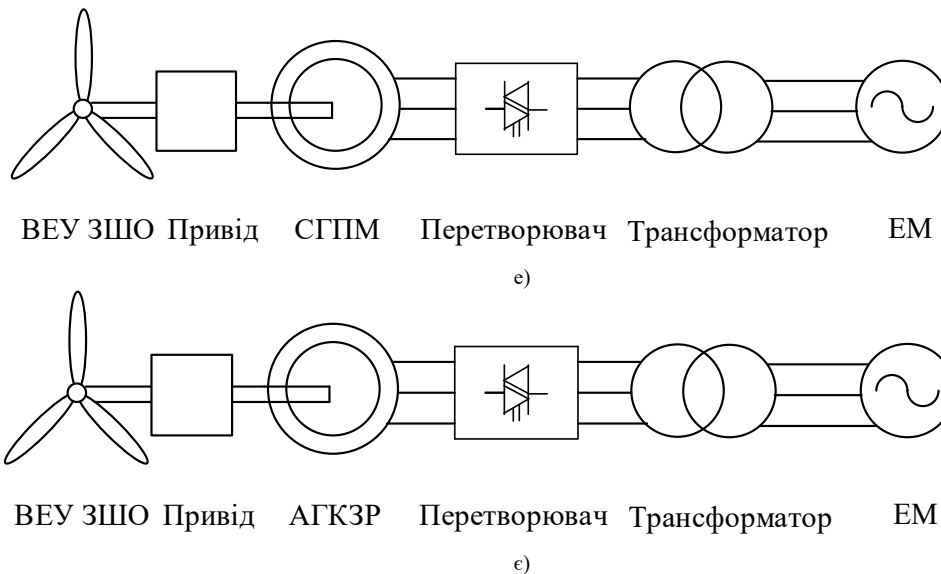


Рис. 5. Схеми системи генерування електричної енергії вітроелектричною установкою змінної швидкості обертання

Усі вище приведені схеми 5 а – в мають переваги, але, також слід зазначити, про присутність більшої кількості недоліків ніж переваг у цих схемах.

Також відома безредукторна схема СГЕЕ ВЕУ ЗШО з СГ з постійними магнітами (ПМ) та підключенням до мережі через ПНП, яка приведена на рис. 5 г.

Останні розробки в області СГПМ дозволяють вирішити одну з принципових проблем їх використання в вітроенергетиці – велика вага. Однією з таких розробок є NewGem колишнього професора університету Durham (Великобританія). Маса СГПМ NewGen потужністю 4 МВт складає 37 тонн, яка на 70% менше маси еквівалентного за потужністю багатополусного генератора.

СГЕЕ ВЕУ ЗШО з СГПМ з одноступеневим приводом (тип D) зображена на рис. 5 д.

Особливістю і основною перевагою СГЕЕ ВЕУ ЗШО з СГПМ з одноступеневим приводом є вища швидкість, ніж з прямим приводом (без приводу) і менше механічних компонентів, ніж схема з багатоступеневим приводом.

У СГЕЕ ВЕУ ЗШО з ПНП використовуються СГПМ з багатоступеневим приводом (рис. 5 е) та АГКЗР (рис. 5 є).

Основними перевагами СГЕЕ ВЕУ ЗШО з СГПМ з багатоступеневим приводом у порівнянні з ВЕУ ЗШО з АГПЖ є: вища ефективність; може використовуватись без щіток; здатність витримувати пошкодження в мережі є менш складна. Недоліками СГЕЕ ВЕУ ЗШО з СГПМ з багатоступеневим приводом є: більший та дорожчий конвертор; втрати в перетворювачі вищі, бо перетворювач обробляє всю номінальну потужність.

Перевагами СГЕЕ ВЕУ ЗШО з АГКЗР з багатоступеневим приводом є: гнучке управління з ПНП, оскільки працює зі змінною швидкістю; поліпшені властивості компенсації реактивної потужності і плавного приєднання. Недоліком СГЕЕ ВЕУ ЗШО з АГКЗР з багатоступеневим приводом є висока вартість і втрати в ПНП, тому ефективність всієї системи може бути низькою.

#### Висновки

Виконано вибір та обґрунтування основних характеристик сучасних систем ВЕУ для інтеграції в роботу електроенергетичних систем. При цьому:

- виконане дослідження специфіки структурно-функціонального складу сучасних систем ВЕУ. Встановлено, що ступінь розвитку і вартість силової електроніки відіграватиме і надалі ключову роль у виборі оптимальних схем технічного підключення ВЕС до мереж ЕЕС;

- проведено дослідження структури та особливостей застосування головних схем електричних з'єднань сучасних мережевих вітрових електричних станцій. Установлено, що основними рушійними силами розвитку технології ВЕУ можуть бути технічні вимоги системних операторів до підключення ВЕУ/ВЕС до мережі, а також собівартість виробленої ними електроенергії (з включенням надійності ВЕУ);

- виконано вибір та обґрунтування основних характеристик сучасних систем вітроенергетичних установок для інтеграції в роботу електроенергетичних систем. Структура, характеристики та комплектуючі схеми електричних з'єднань ВЕС визначаються одиничною потужністю ВЕУ, їх кількістю, розташуванням на місцевості, типом застосовуваної СГЕЕ ВЕУ. Залежно від цих параметрів схема електричних з'єднань ВЕС до ЕМ може бути виконана за магістральним, радіальним або змішаним принципом.

#### Література

1. Chen H. Li. Z. Overview of different wind generator systems and their comparisons // IET Renew. Power Generation., 2008, Vol. 2, pp. 123 – 138.

2. IEC 61400-12-1 Ed.1: Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines, 88/244/FDIS, 2005.
3. Kusiak A., Zheng H., Song Z. On-line monitoring of power curves. *Renewable Energy* 2009; 34:1487–93.
4. Lydia M., Selvakumar AI, Kumar SS, Kumar GEP. Advanced algorithms for wind turbine power curve modeling. *IEEE Trans Sustainable Energy* 2013; 4:827–35.
5. Malik N. H., Mazi A. A. Capacitance Requirements for Isolated Self Excited Induction Generators.// *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. EC-2 No.1, PP. 62 – 69, March 1987.
6. Manwell JF, McGowan JG, Rogers AL. *Wind energy explained: theory, design and application*. UK: John Wiley & Sons; 2009.
7. Monteiro C., Bessa R., Miranda V., Botterud A., Wang J., Conzelmann G. *Wind power forecasting: state-of-the-art 2009*. Decision and Information Sciences Division, Argonne National Laboratory, ANL/DIS-10-1. 2009.
8. Olaofe OZ, Folly KA. Wind energy analysis based on turbine and developed site power curves: a case-study of Darling city. *Renewable Energy* 2013; 53:306–18.
9. Schlechtingen M., Santos I.F., Achiche S. Wind turbine condition monitoring based on SCADA data using normal behavior models. Part 1: System description, *Appl. Soft Comput.* 13 (2013) 259–270.
10. Shafiullah GM, Oo AMT, Shawkat Ali ABM, Wolfs P. Potential challenges of integrating large-scale wind energy into the power grid - a review. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2013; 20:306–21.
11. Slootweg J. G. *Wind Power: Modelling and Impact on Power System Dynamics*. Ph.D. thesis. 2003. – 207 p.
12. Tandon A. K., Murthy S. S., Berg G. J. Steady State Analysis of Capacitor Self- Excited Induction Generators.// *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-103, No 3, PP.612 – 618, March 1984.
13. Trivellato F., Battisti L., Miori G. The ideal power curve of small wind turbines from field data. *Wind Eng. Ind. Aerodyn* 2012; 107-108:263–73.
14. Wagner R., Courtney M. Multi-MW wind turbine power curve measurements using remote sensing instruments - the first Hovsore campaign 2009.
15. Whale J., McHenry MP., Malla A. Scheduling and conducting power performance testing of a small turbine. *Renewable Energy* 2013; 55:55–61.
16. Youssef E., Sharaf A., Amin A., El Samhey A. *Wind Energy FACTS Applications and Stabilization Schemes*. *Advances in Renewable Energies and Power Technologies*, Chapter 14, Elsevier, 2018. – 431-460 p.
17. Zhang Yi, Ula Sadrul Comparison and Evaluation of Three Main Types of Wind Turbines. // *IEEE*, 2008. Pp. 1 – 6.
18. <https://www.c-o-k.ru/library/document/13057/36229.pdf>
19. <https://www.pse.pl/web/pse-eng/data/polish-power-system-operation/basic-data>
20. <https://www.thewindpower.net/>
21. <http://www.aaer.ca/>. (AAER). 14. <http://www.ecotecnia.com/>. (ECOTECNIA).
22. [http://www.enercon.de/fr/\\_home.htm](http://www.enercon.de/fr/_home.htm). (ENERCON GmbH).
23. <tp://www.-friendly-energy.de/>; <http://www.fuhrlaender.de>. (Fuhrländer AG).
24. <http://www.gamesacorp.com>; <http://www.gamesa.es/en>. (Gamesa).
25. <http://www.gewindenergy.com>, [http://www.gepower.com/businesses/ge\\_wind\\_energy/en](http://www.gepower.com/businesses/ge_wind_energy/en). (General Electric Company).
26. [http://www.mpshq.com/products\\_wind.htm](http://www.mpshq.com/products_wind.htm). (Mitsubishi Power Systems).
27. <http://www.nordexonline.com/en>. (Nordex).
28. <http://www.vergnet.fr>. (Vergnet).
29. <http://www.vestas.com/de>. (Vestas).

### References

1. Chen H. Li. Z. Overview of different wind generator systems and their comparisons // *IET Renew. Power Generation.*, 2008, Vol. 2, pp. 123 – 138.
2. IEC 61400-12-1 Ed.1: Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines, 88/244/FDIS, 2005.
3. Kusiak A., Zheng H., Song Z. On-line monitoring of power curves. *Renewable Energy* 2009; 34:1487–93.
4. Lydia M., Selvakumar AI, Kumar SS, Kumar GEP. Advanced algorithms for wind turbine power curve modeling. *IEEE Trans Sustainable Energy* 2013; 4:827–35.
5. Malik N. H., Mazi A. A. Capacitance Requirements for Isolated Self Excited Induction Generators.// *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. EC-2 No.1, PP. 62 – 69, March 1987.
6. Manwell JF, McGowan JG, Rogers AL. *Wind energy explained: theory, design and application*. UK: John Wiley & Sons; 2009.
7. Monteiro C., Bessa R., Miranda V., Botterud A., Wang J., Conzelmann G. *Wind power forecasting: state-of-the-art 2009*. Decision and Information Sciences Division, Argonne National Laboratory, ANL/DIS-10-1. 2009.
8. Olaofe OZ, Folly KA. Wind energy analysis based on turbine and developed site power curves: a case-study of Darling city. *Renewable Energy* 2013; 53:306–18.
9. Schlechtingen M., Santos I.F., Achiche S. Wind turbine condition monitoring based on SCADA data using normal behavior models. Part 1: System description, *Appl. Soft Comput.* 13 (2013) 259–270.



10. Shafiullah GM, Oo AMT, Shawkat Ali ABM, Wolfs P. Potential challenges of integrating large-scale wind energy into the power grid - a review. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2013; 20:306–21.
11. Slootweg J. G. Wind Power: Modelling and Impact on Power System Dynamics. Ph.D. thesis. 2003. – 207 p.
12. Tandon A. K., Murthy S. S., Berg G. J. Steady State Analysis of Capacitor Self- Excited Induction Generators.// *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-103, No 3, PP.612 – 618, March 1984.
13. Trivellato F., Battisti L., Miori G. The ideal power curve of small wind turbines from field data. *Wind Eng. Ind. Aerodyn* 2012; 107-108:263–73.
14. Wagner R., Courtney M. Multi-MW wind turbine power curve measurements using remote sensing instruments - the first Hovsore campaign 2009.
15. Whale J., McHenry MP., Malla A. Scheduling and conducting power performance testing of a small turbine. *Renewable Energy* 2013; 55:55–61.
16. Youssef E., Sharaf A., Amin A., El Samhey A. Wind Energy FACTS Applications and Stabilization Schemes. *Advances in Renewable Energies and Power Technologies*, Chapter 14, Elsevier, 2018. – 431-460 p.
17. Zhang Yi, Ula Sadrul Comparison and Evaluation of Three Main Types of Wind Turbines. // *IEEE*, 2008. Pp. 1 – 6.
18. <https://www.c-o-k.ru/library/document/13057/36229.pdf>
19. <https://www.pse.pl/web/pse-eng/data/polish-power-system-operation/basic-data>
20. <https://www.thewindpower.net/>
21. <http://www.aaer.ca/>. (AAER). 14. <http://www.ecotecnia.com/>. (ECOTECNIA)
22. [http://www.enercon.de/fr/\\_home.htm](http://www.enercon.de/fr/_home.htm). (ENERCON GmbH).
23. [tp://www.-friendly-energy.de/](http://www.-friendly-energy.de/); <http://www.fuhrlaender.de>. (Fuhrländer AG).
24. <http://www.gamesacorp.com>; <http://www.gamesa.es/en>. (Gamesa).
25. <http://www.gewindenergy.com>, [http://www.gepower.com/businesses/ge\\_wind\\_energy/en](http://www.gepower.com/businesses/ge_wind_energy/en). (General Electric Company).
26. [http://www.mpshq.com/products\\_wind.htm](http://www.mpshq.com/products_wind.htm). (Mitsubishi Power Systems).
27. <http://www.nordexonline.com/en>. (Nordex).
28. <http://www.vergnet.fr>. (Vergnet).
29. <http://www.vestas.com/de>. (Vestas).