

SMART GRID СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

SMART GRID SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

УДК 621.316.1.05

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, проф., Д.С. Горенко
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

В даній статті розглядаються структура віртуальних електростанцій (ВЕУ) та світовий досвід їх впровадження. Коротко наведено світовий досвід впровадження систем Smart Grid. Представлено переваги та недоліки від впровадження віртуальних електростанцій для різних учасників енергоринку.

Зазначені системи дистанційного керування та система синхронізації комплексних вимірювань у віртуальних електромережах. Описані комплексний та системний підходи до керування генерацією в цілому та окремими її складовими. Представлені різновиди методів підвищення ефективності ВЕУ.

Наведено алгоритм аналізу взаємного впливу елементів систем Smart Grid. Також представлені фактори, які необхідно враховувати при здійсненні аналізу. Описано основні параметри та характеристики електромагнітної сумісності.

Ключові слова: розосереджена генерація, системи електропостачання, Smart Grid, Virtual Power Plants, поновлювальні джерела енергії, система керування, Energy Management System, електромагнітна сумісність.

Вступ. Застосування віртуальних розосереджених генераторів може вирішити багато проблем. Кращий спосіб реалізувати новий потенціал розосередженої генерації – це прийняти системний підхід, який розглядає генерацію і пов'язані з нею навантаження як підсистеми або "micro grid" [1,2]. Під час порушень генерація та відповідні навантаження можуть відокремити від системи розподілу ізолювати Microgrid навантаження від збурення, без пошкодження передачі цілісності мережі. Дієздатність острова генерації і навантажень в комплексі має потенціал, щоб забезпечити більш високу локальну надійність, ніж передбачено енергетичною системою в цілому.

Економічні, екологічні технології стимулюють зміну генерації та передачі електроенергії. Централізована генеруюча потужність, поступаються місцем меншій, більш розосередженій генерації частково через втрату традиційного ефекту, не дивлячись на те, що ситуація змінюється швидко і вимагає уваги до питань, пов'язаних із впровадженням розосередженої генерації в розподільні системи. Розподілена генерація охоплює широке коло технологій, таких як застосування двигунів внутрішнього згоряння, газових турбін, мікротурбін, сонячних батарей, паливних елементів і вітряків. Більшість нових технологій, таких як мікротурбіни, фотовольтаїка, паливні елементи і газові двигуни внутрішнього згоряння з генератором постійного струму вимагають інверторів для підключення до електричної системи. Ці нові технології мають більш низькі викиди і вищий потенціал, що зумовлює більш низьку вартість, замінюючи негативний традиційний економічний ефект [3–5].

Від сучасних Smart Grid очікують: підвищення ефективності енергоспоживання (такі складові як demand / response, floating prices, smart metering, peak shaving), зокрема, за рахунок зниження пікових навантажень; використання відновлюваних джерел енергії з розв'язанням задач динамічного балансу споживання та генерації на макро- і мікрорівнях; поширення електромобілів з формуванням стандартів обміну інформацією та фізичного підключення до електромережі; підвищення надійності, стабільності та безпеки [6].

Віртуальна електростанція (VPP) – це структура, що поєднує в собі елементи трьох видів [7]: розосереджені генератори (вітроустановки, фотоелектричні станції, міні- і мікро- ТЕЦ тощо); споживачі-регулятори навантаження (побутові та промислові); системи акумулювання енергії. Побутові споживачі (пральні машини, холодильники, телевізори, мікрохвильові печі, системи кондиціонування приміщень, нагрівальні елементи тощо) є найбільш легко керованими навантаженнями. Керованість навантаження промислових споживачів у основному залежить від гнучкості їх технологічних процесів. Для деяких процесів підвищують гнучкість за рахунок систем акумулювання енергії. Системи акумуляції можуть

накопичувати енергію в різних формах (теплової, електричної, механічної та хімічної). Для побутових споживачів найбільш раціональним варіантом є акумулювання тепла (за режимами роботи теплоакumuлюючі системи добре координуються з мікроТЕЦ). Для промислових споживачів оптимальними накопичувачами є акумуляторні батареї. Система акумулювання енергії вибирається, виходячи з області застосування і вартості накопичувачів, з урахуванням, за необхідності, географічного чинника.

Зазвичай віртуальні електростанції приєднуються до мережі середньої або низької напруги. Елементи віртуальної електростанції можуть розташовуватися на значних відстанях один від одного. Мережі (електричну та комунікаційну) об'єднують під терміном Microgrid. Характерною особливістю Microgrid є можливість роботи в автономному режимі. Керування віртуальними електростанціями здійснюється дистанційно через систему EMS (Energy Management System), яка приймає інформацію про поточний стан кожної енергоустановки та передає на них керуючі сигнали. У EMS використовується глобальна супутникова система навігації (GPS), за допомогою якої здійснюється синхронізація вимірювань комплексних значень струму та/або напруги на всіх енергоустановках віртуальної електростанції. Пристрої для таких вимірювань називають PMU (Phasor Measurement Units). Віртуальна електростанція може мати комерційне призначення (продаж електроенергії на оптовий ринок), технічне (системні послуги, такі як регулювання частоти та активної потужності, підтримання якості електричної енергії тощо) або ж поєднувати обидві ці функції.

До функціональних можливостей віртуальних електростанцій можна віднести [8]:

- 1) керування розосередженою генерацією (оптимізацію режимів мережі);
- 2) керування споживанням електроенергії (співставлення графіків навантаження споживачів та джерел електроенергії);
- 3) керування ринком резерву потужності (можливість використання резервної потужності).

Ефект від впровадження проявиться для споживача в підвищенні надійності, енергетичної та економічної ефективності електропостачання, а за рахунок участі в програмі керування споживанням виникає можливість впливати на споживання електроенергії. Також є можливість отримання доходів від продажу надлишків потужності в мережу. Для енергосистеми це призведе до зниження пікових навантажень мережі, оптимізації регулювання навантаження і режимів мережі, інтеграції віртуальних електростанцій в систему зі збереженням її стабільності, а також збільшення завантаження активів мережі, зменшення незатребуваної потужності та зменшення рівня інвестицій в мережу.

Отже, деякі вигоди різним учасникам ринку від впровадження віртуальних електростанцій [9]:

1) Розподільні та магістральні мережі:

- більш прозора діяльність об'єктів розосередженої генерації і контроль їх активності на ринку;
- зниження пікових навантажень мережі за рахунок регулювання навантаженнями споживачів;
- зниження ризиків перебоїв мережі;
- зниження рівня інвестицій у мережу;
- поліпшення контролю роботи негнучкої і непостійної розосередженої генерації.

2) Збутові компанії:

- поліпшений контроль за комерційними ризиками;
- новий рівень роботи зі споживачами, можливість пропонувати нові програми керування споживанням;
- доступ до більш дешевих ресурсів;
- поліпшення надійності енергопостачання;
- покращений білінг.

3) Власники розосередженої генерації і споживачі:

- отримання плати за гнучку потужність, за участь у програмах керування споживанням;
- можливість брати участь на ринку в повному обсязі в якості виробника, продаж електроенергії на ринку;
- збільшення вартості активів;
- більш осмислене споживання електроенергії;
- економія коштів за рахунок зниження споживання електроенергії (у разі надання гнучкої потужності).

4) Регулятор або системний оператор:

- балансування і оптимізація ринку;
- відкриття ринку для більш дрібних учасників;

- отримання додаткової гнучкої потужності;
- інтеграція об'єктів розосередженої генерації у систему, зберігаючи при цьому її стабільність;
- досягнення цілей країни щодо зниження викидів CO₂;
- створення нових робочих місць.

Мета та завдання. В Україні потрібна технологічна модернізація мережі, зокрема – із використанням пристроїв регулювання напруги та потоків потужності, створення резервних смостей для вирівнювання профілів генерації. Власне, з цим пов'язані основні очікування суспільства щодо стійкого, ефективного енерговиробництва та енергоспоживання.

Поряд зі створенням концепції Microgrid в Україні важливо розробити відповідне нормативно-правове і технічне забезпечення інтеграції розосереджених джерел енергії, з використанням наявних на ринку нашої країни пристроїв систем електропостачання та накопичувачів, створити платформу керування потужністю інтегрованих розосереджених джерел енергії на основі сучасних технологій Smart Grid, забезпечити реалізацію міжнародних стандартів функціональної сумісності обладнання інтелектуальних мереж відповідних регламентів і технічних умов.

Матеріал і результати дослідження. Світовий досвід впровадження систем Smart Grid включає в себе безліч проектів у всьому світі. Прийняті стратегічні документи для розвитку електроенергетики в ЄС (Директива 2004/8/ЄС від 11.02 2004 р. «Про розвиток когенерації на основі корисного тепла на внутрішньому енергетичному ринку»), США (Каліфорнія. План розвитку розосередженої генерації), Австралія (Програма з реформування енергетики Австралії) [10]. В країнах Європи розосереджена генерація складає приблизно 10 % від загального об'єму виробництва електроенергії. Для прикладу в Данії до 2020 року планується перехід на нетрадиційну енергетику 33 % загальної генерації, а до 2050 року повністю відмовитись від викопного палива. В США приблизно 12 млн. установок малої розосередженої генерації з одиничною потужністю до 60 МВт та загальною потужністю понад 220 ГВт. Темпи приросту становлять порядку 5 ГВт на рік. В Росії на базі Національного дослідницького Іркутського державного університету, в співпраці з Технічним університетом Отто-фон-Геріке і Науковим центром Фраунхофера, в 2013 році стартував проект «Smart Grid» – «Байкал» [11].

Розроблено і широко використовуються багато пристроїв, систем та програмного забезпечення для розумних мереж. Одним з пристроїв, що забезпечують керування Microgrid і використовуються в США, є контролер мікроджерел [3,4].

Інвертори забезпечують контроль і гнучкість, необхідні для функціональності PnP. В управлінні Microgrid необхідно врахувати те, що нові мікроджерела можуть бути додані в систему без модифікації існуючого обладнання, Microgrid може підключитися або швидко ізолювати себе від мережі, може контролювати незалежно реактивну та активну потужності, а також задовольнити потреби динамічних навантажень.

Контролер мікроджерел [3], описаний нижче, використовує перетворювач, який взаємодіє з паливними елементами, мікротурбінами і технологіями зберігання даних. Кожен контролер мікроджерела повинен бути в змозі ефективно реагувати на зміни в системі, спричинені навантаженням або іншими джерелами. Робота Microgrid допускає, що силова електроніка, яка здійснює контроль поточних мікроджерел, модифікується, щоб забезпечити набір ключових функцій, яких в даний час немає. Функції керування включають можливість регулювати потужність потоку джерела; регулювання напруги на стикі першого мікроджерела; забезпечити, щоб кожне мікроджерело швидко сприймало свою частку навантаження в системі островів. Як додаток до цих функцій керування, спроможність системи островів плавно і автоматично підключитися до об'ємної потужності є важливою оперативною функцією. На рис. 1 представлено структурну схему контролера мікроджерела.

Принцип роботи контролера мікроджерела полягає в корекції реактивної потужності Q зі зміною напруги регулювання E_p та корекції частоти ω зі зміною активної потужності P . Інтеграція великого числа мікроджерел в Microgrid неможлива без забезпечення контролю коефіцієнта потужності [3]. Напруга регулювання необхідна для локальної надійності і стабільності. Без місцевого регулювання напруги, в системі з великою кількістю мікроджерел можуть спостерігатися коливання напруги і/або реактивної потужності. Напруга керування має також гарантувати, що відсутня велика циркуляція реактивних струмів між джерелами. З невеликою помилкою напруги керування, циркулюючий струм може перевищувати допустимий мікроджерела. Така ситуація вимагає корекції напруги за зміною реактивної потужності контролера таким чином, щоб, якщо реактивна потужність, що виробляється мікроджерелом, стає більш смісна, напруга керування зменшувалась. І навпаки, якщо Q стає більш індуктивна, напруга керування збільшується.

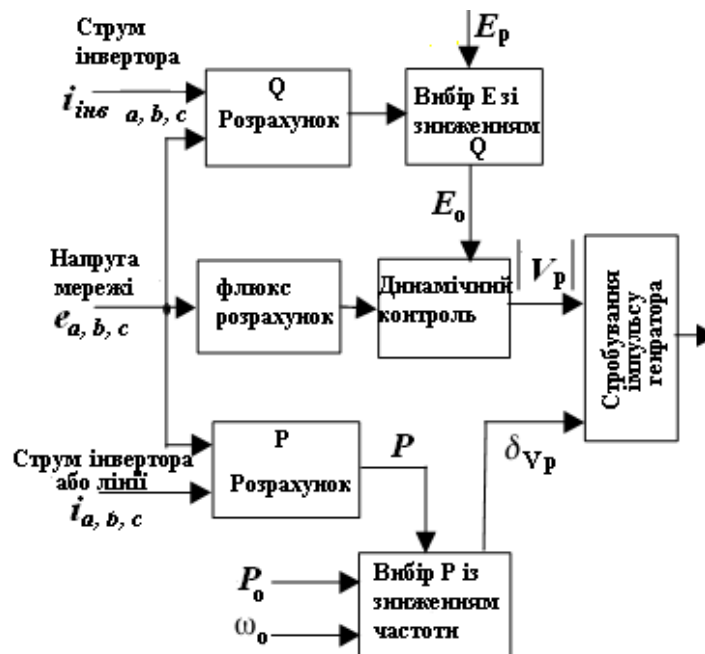


Рисунок 1 – Контролер мікроджерела

Microgrid може забезпечувати надлишок потужності, працюючи з використанням методів контролю, де острів Microgrid може плавно і автоматично підключитися до основної мережі енергосистеми, аналогічно системі UPS [3]. В острівному режимі потрібно вирішити проблеми незначних помилок генерації кожного інвертора і необхідної зміни потужності робочих точок, щоб відповідати змінам навантаження. Функціональна залежність потужності від зниження частоти на кожному мікроджерелі може ефективно вирішити ці проблеми без комунікаційної мережі. Коли Microgrid підключена до мережі, Microgrid навантаження отримують живлення як від мережі, так і з місцевих мікроджерел, в залежності від ситуації клієнта. Якщо потужність мережі втрачається через перепади напруги, збої, відключення і т. ін., Microgrid плавно переходить в режим острова. Коли Microgrid відокремлюється від мережі, фазові кути напруги на кожному мікроджерелі в Microgrid змінюються, що призводить до очевидного зниження частоти. Це зниження у поєднанні зі збільшенням потужності дозволяє для кожного мікроджерела забезпечити його пропорційну частку потужності.

Крім регулювання системи в цілому також можливе регулювання конкретних її елементів. Сучасні вітроенергетичні установки (ВЕУ) використовують вітер приземного шару атмосфери [12]. На попередній стадії виявлення перспективності ВЕУ використовується один з головних показників ефективності – середньорічна швидкість вітру. Вважається, що для побудови ефективної ВЕУ ця величина повинна становити 5 м/с та більше. Вітер із меншою швидкістю для вироблення енергії майже не використовується.

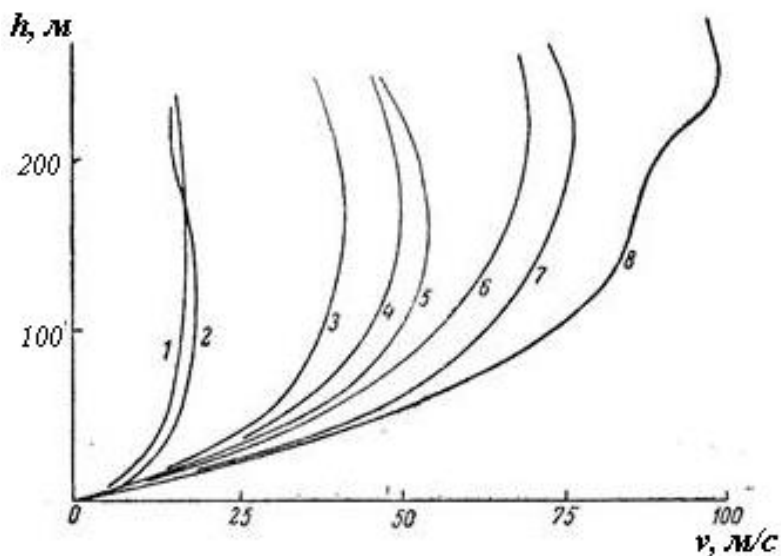
Для оцінки ефективності вітрового потоку використовується формула:

$$P = C_p \cdot \rho \cdot S \cdot \frac{V^3}{2}, \quad (1)$$

де C_p – коефіцієнт ефективності вітроколеса, ρ – густина повітря ($\text{м}^3/\text{с}$), S – площа вітроколеса (м^2), V – швидкість вітру біля вітроколеса ($\text{м}/\text{с}$) [13].

Що стосується ВЕУ, які використовують вітер швидкістю 5 м/с і більше, то на етапі проектування електроустановок обов'язково потрібно враховувати значення швидкості вітру в залежності від висоти осі ротора.

Доведено, що на різній висоті, в одній і тій самій місцевості, в один і той самий момент часу швидкість вітрового потоку відрізняється. А саме, чим вища точка заміру, тим більша лінійна швидкість потоку. Крім того, на профіль швидкості вітру впливає покриття поверхні, рельєф, кущі та дерева, окремі будівлі, міста. Оціночні профілі швидкості вітру наведені на рис. 2 [11].



1,2 – відкрита місцевість; 3,4,5 – ліс та окремі будівлі;
6,7 – міста та селища; 8 – великі міста.

Рисунок 2 – Вертикальні профілі вітру в граничному шарі атмосфери

В країнах, де вагому частку виробленої електроенергії генерують ВЕС, виникає необхідність регулювання вихідної потужності для вирівнювання графіку навантаження. До способів підвищення енергоефективності ВЕС можна віднести:

- керування кутом атаки лопастей вітроенергетичної установки.
- керування кутом повороту осі ротора ВЕС в залежності від напрямку вітру.
- зміну положення в просторі установки в цілому.
- розташування ВЕС у відкритому морі.
- використання потоконаправляючих елементів та концентраторів вітрового потоку і т.ін.

На рис. 3 представлено різні способи зміни висоти башти вітрогенератора, а на рис. 4 – варіант структурної схеми використання даного способу регулювання в комплексі [5,14].

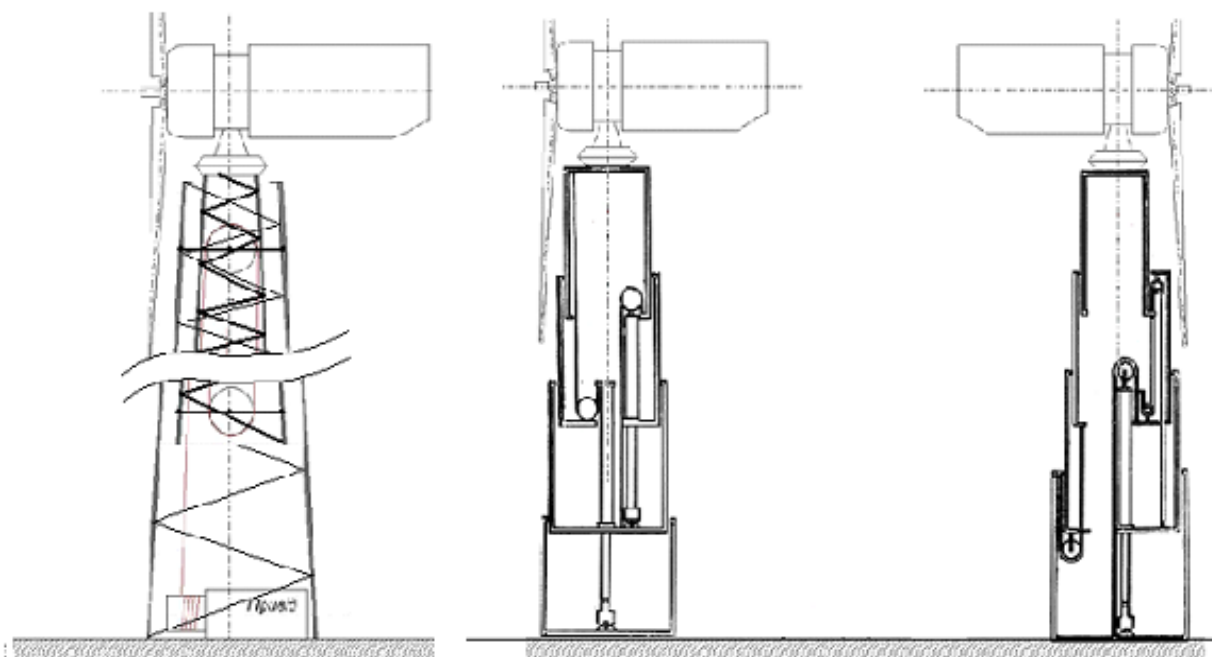


Рисунок 3 – Різні методи реалізації регулювання висоти башти вітрогенератора

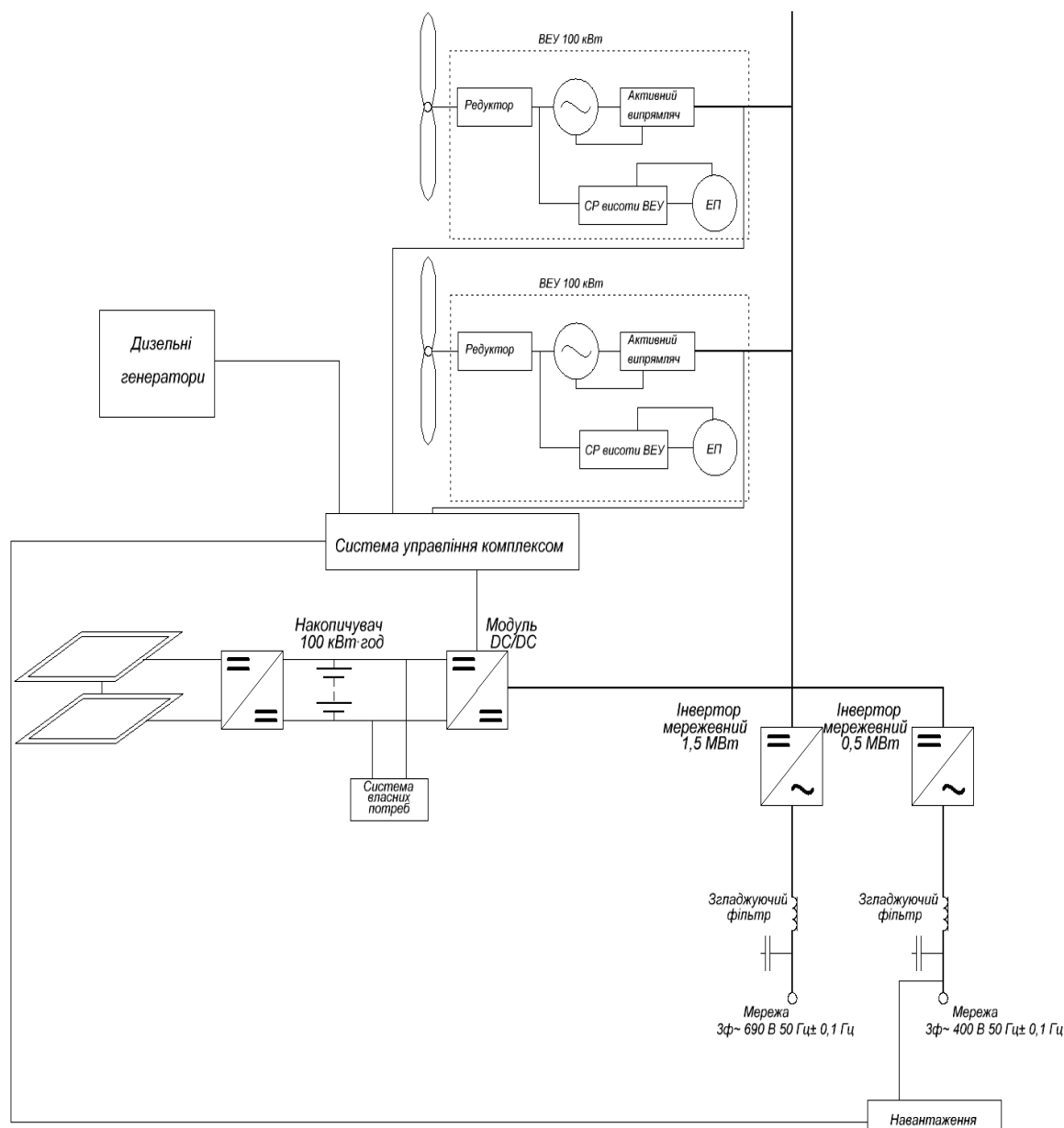


Рисунок 4 – Структурна схема використання ВЕУ з системою регулювання висоти башти

Аналіз взаємного впливу елементів системи Smart Grid

Рівень електромагнітної сумісності (ЕМС) є одним із визначальних показників систем енергопостачання, що обумовлює погіршення їх техніко-економічних показників, вплив на інші системи та навколишнє природне середовище [15].

Аналіз рівнів ЕМС потребує розгляду електромагнітної обстановки та характеристик різних типів електромагнітних завад, їх впливу на електроприймачі, на величину технологічного та комерційного складників втрат, а також оцінки часткової участі кожного спотворюючого джерела в загальній результуючій (сумарній) величині впливу спотворюючих джерел. Як наслідок, потребують свого розв'язання задачі побудови моделей оцінки ЕМС у системах та розроблення алгоритмів аналізу взаємного впливу елементів СЕП.

Зазвичай взаємний вплив елементів ураховується для конкретного режиму роботи. Аналіз взаємного впливу здійснюється таким чином[15]:

- 1) при формуванні моделі виділяються елементи та підсхеми, для яких оцінюватиметься взаємний вплив.
- 2) проводиться розрахунок електромагнітних процесів.
- 3) здійснюється оцінка електромагнітної сумісності.

4) формується інтегральна модель на основі розділення струму на реактивну та активну складові.

Аналіз передбачає врахування впливу різних факторів неякісності електроенергії, до яких відносяться зміни форми сигналів $u(t)$, $i(t)$, що обумовлюють відхилення, провали та зміни напруги, спотворення синусоїдальної кривої напруги та струму, несиметрія напруги та струму, поява імпульсів напруги та тимчасова перенапруга.

До критеріїв ефективності енергетичних процесів для оцінки взаємного впливу елементів можна віднести критерії, що відображають відмінність оптимального режиму, в тому числі – від синусоїдального, рівні реактивної потужності за першою та вищими гармоніками, складовими витрат, характер протікання обмінних процесів [11].

Рівень порушення електромагнітної сумісності визначається виразами

$$L_{EMC} = (H_j, e_i) = \sum_{i=1}^{n_{3,j}} h_i; \quad L_{EMC\Sigma} = \sum_{j=1}^{n_e} \left\{ \sum_{i=1}^{n_{3,j}} (H_{i,j}, e_{i,j}) \right\} = \sum_{j=1}^{n_e} \sum_{i=1}^{n_{3,j}} h_{i,j}. \quad (2)$$

Якщо поставити у відповідність векторам $H_j, H_{i,j}$ вектори вагових коефіцієнтів $W_{K1} = |w_1, w_2, \dots, w_{n_{3j}}|'$, $W_{K11} = |w_{11}, w_{12}, \dots, w_{n_e, n_{3j}}|'$, можна отримати уточнені кількісні характеристики порушення EMC для -го елемента та системи в цілому:

$$L_{EMC} = \sum_{i=1}^{n_{3,j}} h_i w_j; \quad L_{EMC\Sigma} = \sum_{j=1}^{n_e} \sum_{i=1}^{n_{3,j}} h_{i,j} w_{i,j}. \quad (3)$$

В аналізі взаємного впливу враховується парціальний вплив сигналу на елементи кола, вплив зміни параметрів елементів кола, у тому числі – діючих генераторів, взаємний вплив елементів.

Безпосередньо рівень EMC оцінюється показниками Δ_{B1} , Δ_{B2} , Δ_{B3} , які визначаються за співвідношеннями:

- 1) $\Delta_{B1} = \int_0^T (u(t)/i(t) - R_{\parallel}) dt / (TR_{\parallel})$;
- 2) $\Delta_{B2} = Q_{OB}/P$;
- 3) $\Delta_{B3} = Q/Q_{OB} - \pi$,

де R_{\parallel} – опір, при якому відсутнє спотворення сигналу; Q_{OB} – обмінна реактивна потужність. Обмінні процеси можна поділити за першою та вищими гармоніками:

$$Q_{OB}^{(1)} = \frac{1}{T \int_0^{t^+} u(t) I_{m(1)} \sin(\omega t - \psi_1^i) dt}; \quad Q_{OB}^{(\sim)} = \frac{1}{T \int_0^{t^+} u(t) (\sum_{k=2}^{N_{\Gamma}} I_{m(1)} \sin(\omega t - \psi_1^i)) dt}. \quad (4)$$

Показники Δ_{B1} та Δ_{B2} відображають відповідно критерії мінімуму втрат та усереднення зворотних потоків енергії, а Δ_{B3} є інтегральною характеристикою наближення енергетичного процесу до синусоїдального. Міра оцінки взаємного впливу елементів визначається ступенем їх наближення до нуля.

Висновки. Вирішення актуальної задачі інтеграції VPP у централізовану електричну мережу в масштабі Microgrid дозволить підвищити рівень гнучкості і надійності електропостачання споживачів, а також підвищити рівень функціонування ринку електроенергії в цілому [8].

Необхідність і доцільність впровадження в сучасну енергосистему України потужностей малої енергетики не викликає сумнівів. Європейські та світові приклади успішної модернізації у сфері електроенергетики, а також спроможність систем розосередженої генерації конкурувати з великими джерелами енергії підтверджують цю тезу. Крім того, сучасні засоби автоматики та захисту спроможні подолати технічні проблеми перебудови розподільної мережі енергосистеми з впровадженням автономних генераторів [10].

Головною умовою розширення VPP в Україні є організація зв'язків між усіма взаємодіючими суб'єктами. Для цього необхідно вдосконалювати засоби технічного регулювання, узгоджувати технології VPP з вимогами єдиної енергосистеми України шляхом розроблення відповідних стандартів і правил, а також дослідити питання вибору оптимального поєднання і розміщення джерел електроенергії в Microgrid.

Розроблення науково обґрунтованих пропозицій щодо використання конкретних типів сучасних електроенергетичних та електротехнічних пристроїв різного функціонального призначення, алгоритмів аналізу взаємного впливу елементів системи та механізмів забезпечення EMC дозволить суттєво

покращити стан ЕМС та якість електроенергії, наблизити показники її якості у вітчизняних мережах, умови функціонування конкретних типів електроенергетичного та електротехнічного обладнання до загальних європейських вимог. [15].

Список використаної літератури

- 1 Стогній, Б.С. Розвиток інтелектуальних електричних мереж на основі положень концепції SMART GRID / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк. // Інститут електродинаміки НАН України. – 2012. – С. 5–13.
- 2 Стогній, Б.С. Світовий досвід та перспективипобудови інтелектуальних енергетичних систем в Україні / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк. // Інститут електродинаміки НАН України. – 2013. – С. 5–17.
- 3 Lasseter. R.H. Microgrid: A Conceptual Solution/ R.H. Lasseter, P. Piagi. // PESC'04 Aachen, Germany. – 2004.
- 4 Wen C.X. Droop Control of Parallel Dual-Mode Inverters Used in Microgrid / C.X. Wen, Z.Y. Liu, Z.X. Li. // International Conference on Power Electronics and Energy Engineering (PEEE 2015).
- 5 Горенко, Д.С. Дослідження можливостей підвищення ефективності вітроенергетичних установок різної потужності / Д.С. Горенко, Т.М. Базюк.
- 6 Денисюк, С.П. Аналіз взаємного впливу елементів систем з нелінійними струмами і напругами / С.П. Денисюк. // Ресурсоенергозбереження в ринкових відносинах. – 1997. – С. 12.
- 7 Білодід, В.Д. Мала енергетика та її значення в регіональних системах майбутнього / В.Д. Білодід, К.В. Таранець. // Проблеми загальної енергетики. – 2008. – №8. – С. 40–47.
- 8 Кечкин, А.Ю. Вопросы создания виртуальных электростанций в масштабе Micro-Grid / А.Ю. Кечкин, Е.Н. Соснина, А.В. Шалухо. – 2015. – С. 50–55.
- 9 Виртуальная электростанция – «умный контроль» распределенной генерации. // Энергетика и промышленность России. – 2014. – №8.
- 10 Кожуховский, И.С. Распределённая энергетика - мировой тренд / И.С. Кожуховский. // Материалы IX Всероссийской конференции НП ГП и ЭСК «Розничные рынки электроэнергии 2013-2014гг.». – 2013.
- 11 Проект ИрГТУ «Smart Grid» – «Байкал» получил грант и продолжит исследования [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://greenevolution.ru/2013/07/19/proekt-irgtu-smart-grid-bajkal-poluchil-grant-i-prodolzhit-issledovaniya/>
- 12 Величко, С.А. Ветроэнергетика: состояние и перспективы [Електронний ресурс] / С.А. Величко, А.С. Болтенков // Интернет-журнал «Наше будущее» – Режим доступу до ресурсу: <http://uneworld.ucoz.com/102.pdf>.
- 13 Голубенко, Н. С. О зависимости скорости ветра от высоты с учетом рельефа местности [Електронний ресурс] / Н. С.Голубенко, С. И. Довгалоук, А. М. Фельдман, В. Б. Худик – Режим доступу до ресурсу: [o_zavisimosti_skorosti_vetra_ot_vysoty_s_uchetom_relefa_mestnosti.doc](#)
- 14 Долуденко, А.Н. Разработка многофункционального энергетического комплекса на основе гибридной ветродизельной установки с накопителем энергии/ А.Н. Долуденко, Т.Ю. Жораев, А.Н. Новиков, Н.Л. Новиков, Ю.Г. Шакарян.//ОИВТ РАН, Москва, Россия.
- 15 Жуйков, В.Я. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами / В.Я. Жуйков, С.П. Денисюк. – Київ: ТЕКСТ, 2010. – 264 с. – (ТЕКСТ).

S.P. Denysiuk, D.S. Horenko

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

ANALYSIS PROBLEMS OF IMPLEMENTATION VIRTUAL POWER PLANTS

This article discusses the structure of virtual power plant and the international experience of their implementation. Summarized the world experience of implementing Smart Grid systems. Presents the advantages and disadvantages of the introduction of virtual power plants for different participants of the energy market.

The remote control system and the synchronization system of integrated dimensions in the virtual grid. Described is a comprehensive and systematic approach to the management of the generation as a whole, and its individual components. Presents the variety of methods of increasing the efficiency of wind turbines.

The algorithm of analysis of the mutual influence of elements of Smart Grid systems. Also presents the factors that must be considered when performing analysis. Describes the main parameters and characteristics electromagnetic compatibility.

Keywords: dispersed generation, power system, Smart Grid, Virtual Power Plants, renewable energy, control system, Energy Management System, electromagnetic compatibility.

References

- 1 Stogny C. Development of smart grids on the basis of the provisions of the SMART GRID concept / B.S. Stogniy, V.A. Kirilenko, S.P. Denysiuk. // Institute of electrodynamics of NAS of Ukraine. – 2012. – S. 5-13.
- 2 Stogny C. Global experience and perspectivebased intelligent energy systems in Ukraine / B.S. Stogniy, V.A. Kirilenko, S.P. Denysiuk. // Institute of electrodynamics of NAS of Ukraine. – 2013. – S. 5-17.
- 3 Lasseter. R.H. Microgrid: A Conceptual Solution/ R.H. Lasseter, P. Piagi. // PESC'04 Aachen, Germany. – 2004.
- 4 Wen C.X. Droop Control of Parallel Dual-Mode Inverters Used in Microgrid / C.X. Wen, Z.Y. Liu, Z.X. Li. // International Conference on Power Electronics and Energy Engineering (PEEE 2015).
- 5 Horenko D.S. Investigation of possibilities to improve the efficiency of wind turbines of various capacities / D.S. Horenko, T.M. Bazyuk.
- 6 Denysiuk S.P. Analysis of the mutual impact of system elements with non-linear currents and voltages / S.P. Denysiuk. // Resursosberegenie in the market. – 1997. – S. 12.
- 7 Beloded V.D. Small-scale power generation and its importance in regonline systems of the future. V.D. Beloded, K.V. Taranets. // Problems of general energy. – 2008. – No. 8. – S. 40-47.
- 8 Kechkin A. Yu., The creation of virtual power plants on the scale of Micro-Grid / Kechkin A. Yu., E. N. Sosnina, A. W. Saluja. – 2015. – S. 50-55.
- 9 Virtual power plant – "smart control" of distributed generation. // Energy and industry of Russia. – 2014. – No. 8.
- 10 Kozhukhovskiy S.C. Distributed energy - global trend / S. Kozhukhovskiy. // Materials of the IX all-Russian conference of NP GP and ESK "Retail electricity markets, 2013-2014.". – 2013.
- 11 The Project of ISTU "Smart Grid" – "Baikal" has received a grant to continue research [Electronic resource] – access Mode to a resource: <http://greenevolution.ru/2013/07/19/proekt-irgtu-smart-grid-bajkal-poluchil-grant-i-prodolzhit-issledovaniya/>
- 12 Velichko S.A. Vetroenergetika: status and prospects [Electronic resource] / by S.A. Velichko, A.S. Boltenkov // Internet magazine "Our future" – access Mode to a resource: <http://unewworld.ucoz.com/102.pdf>.
- 13 N. Golubenko. C. In dependence of wind speed from height with consideration of the terrain [Electronic resource] / N.S. Golubenko, S.Y. Dovgaluk, A.M. Feldman,. . Hudik – access Mode to a resource: o_zavisimosti_skorosti_vetra_ot_vysoty_s_uchetom_relefa_mestnosti.doc
- 14 Doludenko A.N. Development of multifunctional energy complex based on hybrid wind / diesel plant with energy storage/ A.N. Doludenko, T.Y. Gorev, A.N. Novikov, N.L. Novikov, Yu.G. Shakaryan.//JIHT RAS, Moscow, Russia.
- 15 Zhuikov V.Y. Energy processes in electronic circles with the key elements / V.Y. Zhuykov, S.P. Denysiuk. – Kiev: the TEXT, 2010. – 264 S. – (TEXT).

УДК 621.316.1.05

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, проф., Д.С. Горенко

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ВНЕДРЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В данной статье рассматриваются структура виртуальных электростанций и мировой опыт их внедрения. Кратко приведен мировой опыт внедрения систем Smart Grid. Представлены преимущества и недостатки внедрения виртуальных электростанций для различных участников энергорынка.

Указанные системы дистанционного управления и система синхронизации комплексных измерений в виртуальных электросетях. Описаны комплексный и системный подходы к управлению генерацией в целом и отдельными ее составляющими. Представлены разновидности методов повышения эффективности ВЭУ.

Приведен алгоритм анализа взаимного влияния элементов систем Smart Grid. Также представлены факторы, которые необходимо учитывать при осуществлении анализа. Описаны основные параметры и характеристики электромагнитной совместимости.

Ключевые слова: рассредоточенная генерация, системы электроснабжения, Smart Grid, Virtual Power Plants, возобновляемые источники энергии, система управления, Energy Management System, электромагнитная совместимость.

Надійшла 24.02.2016

Received 24.02.2016