

СХЕМИ ПРИЄДНАННЯ СЕС ДО ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ТА АНАЛІЗ ЇХ ВПЛИВУ НА ПАРАМЕТРИ МЕРЕЖІ

Миколайчик А.І., магістрант, Кацадзе Т.Л., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. В Україні впроваджується розподілена генерація на основі активного використання альтернативних джерел енергії води, сонця, вітру, яка потребує впровадження нових інформаційних і діагностичних системи та сучасних засобів вимірювань і управління.

Мета роботи полягає у визначенні та аналізі актуальних проблем приєднання сонячних електростанцій до електричних мереж та їх впливу на параметри мережі за різних режимів роботи.

Для досягнення мети в роботі вирішені наступні завдання:

- здійснено аналіз схем приєднання та визначено основні технічні вимоги до інверторних ПС для приєднання СЕС до електричної мережі;
- досліджено вплив СЕС на показники якості електричної енергії на основі моделювання приєднання ФЕС потужністю 15 МВт в районі існуючої ПС 150/35/10 кВ "Велика Білозерка" у Великобілозерському районі Запорізької області.

Дана робота включає розгляд вимог до сонячних електростанцій при їх роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України, відповідно до стандарту СОУ НЕК 341.001:2019. Для оцінки впливу СЕС на режим напруги розглянуто можливість приєднання фотогальванічної електричної станції, потужністю 15 МВт, до електричних мереж ПАТ "Запоріжжяобленерго" в районі існуючої ПС 150/35/10 кВ "Велика Белозірка" у Великобілозерському районі Запорізької області.

Матеріали і результати досліджень. В роботі [1] О.В. Кириленка зазначається, що впровадження джерел розподіленої генерації впливає на розподільні мережі та перетворює їх на активні елементи енергосистем. Це призводить до необхідності внесення змін (або перегляду та модернізації) у прийнятті стратегії керування, експлуатації та планування електричних мереж. При цьому, їхній вплив може мати як позитивний, так і негативний характер, тому доцільно ретельно проаналізувати питання приєднання джерел розподіленої генерації в розподільні мережі України.

Після встановлення джерел розподіленої генерації в електричних мережах відбувається коливання рівнів напруги у вузлах, збільшуючись або зменшуючись. Важливим при цьому є контроль $\cos\phi$.

Питання щодо показників якості електричної енергії, більш детально досліджені в праці Я.В. Бацала та ін. Вони зазначають, що вплив неякісної електроенергії на електричне обладнання є досить суттєвим, а дослідження цього впливу, дозволить отримати шляхи зменшення втрат електроенергії, збільшити термін роботи електричного обладнання, зменшити швидкість старіння ізоляції ліній електропередач під дією вищих гармонік та обмежити нагрівання трансформаторів через несиметрію [2].

Безпосередній вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в локальних електричних системах, описано в роботі [3] П.Д. Лежнюка. За матеріалами його досліджень, можна зробити висновок, що найменше гармонійне спотворення синусоїди напруги буде при використанні пропорційно-інтегрального (PI) контролера, а використання пропорційно-резонансного (PR) контролера дасть найбільше гармонійне спотворення на виході інвертора.

Отримані результати досліджень показали, що найбільші спотворення форми синусоїди напруги та струмів на виході СЕС викликають перехідні процеси, пов'язані з увімкненням та вимкненням потужних споживачів, самих СЕС та потужних споживачів з малим інтервалом часу між ними.

СЕС промислового масштабу, що працюють паралельно з мережею, будують однотипними ділянками піковою потужністю від 500 до 1250 кВт, кожна з яких має стандартизовану інверторну ТП. Таким чином, станція будь-якої потужності будується блоками, які працюють паралельно один з одним і з мережею. Для будівництва великих СЕС бажано максимально збільшити потужність однієї інверторної ТП з метою скорочення їх кількості та, відповідно, зменшення протяжності мережі СЕС, а отже, і втрат.

Схеми під'єднання сонячних панелей до інверторної ТП можуть варіюватися в залежності від типу і параметрів панелей, потужності інверторів та ін. У найзагальнішому випадку сонячні панелі з'єднуються в послідовні ланцюжки, увімкнуті між собою паралельно за допомогою сполучних коробок, встановлених поряд з панелями. Виходи сполучних коробок під'єднують до шаф масиву панелей, в яких встановлені запобіжники, що захищають приєднання кожної ділянки, а також струмові давачі, які під'єднуються до автоматизованої системи управління СЕС.

Приєднання інверторних ТП до мережі виконують за допомогою головного розподільного пристрою (ГРП) на напрузі 10 кВ, з міркувань мінімізації вартості обладнання. Конфігурація внутрішньої мережі 10 кВ сонячної електростанції залежить від кількості інверторних ТП, необхідної надійності, конфігурації земельної ділянки та допустимого обсягу капіталовкладень. Проте в загальному використовують такі варіанти:

- радіальна схема (для СЕС потужністю до кількох МВт);
- радіально-магістральна схема (для СЕС потужністю 4-5 МВт);
- схема приєднання двома магістралями (для СЕС потужністю понад 8-12 МВт) (рис. 1) [4].

Виходячи з рівня балансової та експлуатаційної надійності роботи Об'єднаної енергетичної системи України, визначено ряд загальних вимог, які поширюються на СЕС відповідно до їх загальної номінальної потужності та напруги в точці загального приєднання (ТЗП) згідно з класифікацією, встановленою Кодексом системи передачі.

Напругу та спосіб приєднання лінії видавання потужності СЕС визначають залежно від необхідної пропускної спроможності та параметрів окремих елементів електричної мережі, прилеглої до ТЗП, виходячи з таких вимог:

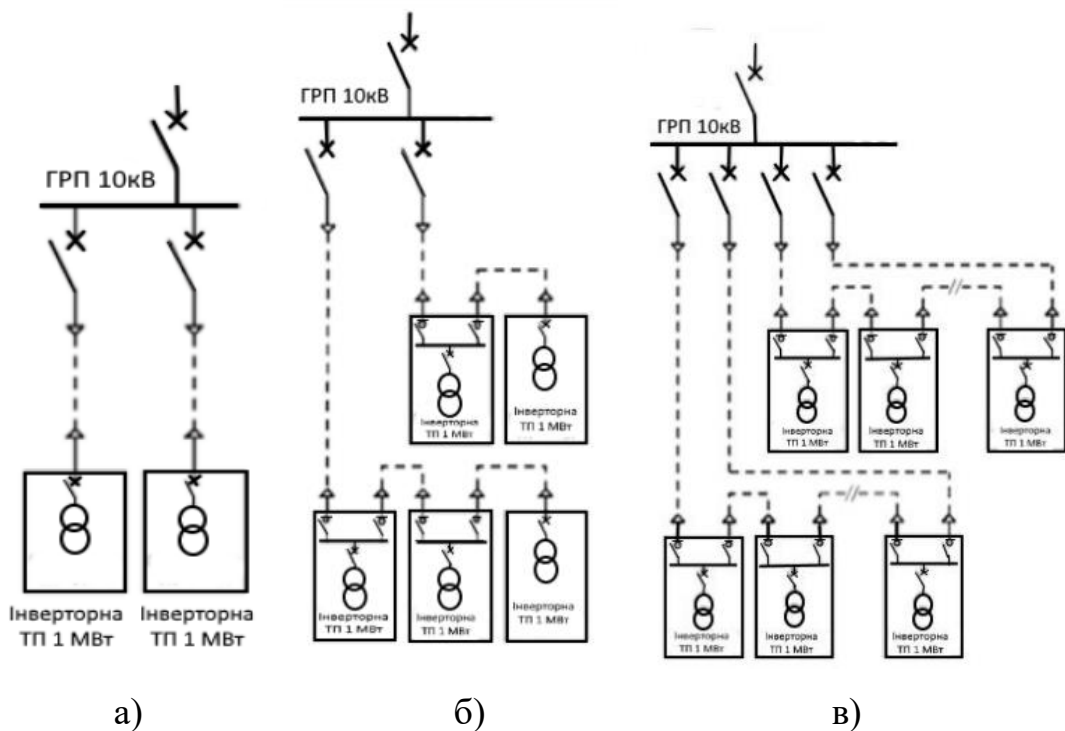


Рисунок 1 – Схеми приєднання інверторних ТП: а) радіальна; б) радіально-магістральна; в) схема приєднання двома магістралями.

- забезпечення видачі повної потужності електростанції в нормальній схемі електричної мережі, прилеглої до ТЗП;

- при нормативних аварійних відключеннях, за відсутності дії протиаварійної автоматики, не повинні перевантажуватися елементи електричної мережі, прилеглої до ТЗП, які призначені для видачі потужності електростанцій встановленою потужністю понад 1 МВт;

- в ремонтних схемах, у разі відключення окремих елементів в контрольованих перетинах мережі, прилеглої до енерговузла, в якому працює електростанція (або група електростанцій), допустимо обмеження видачі сумарної потужності групи електростанцій в межах цього енерговузла на величину до 100 МВт, але не більше 50% від встановленої сумарної потужності електростанцій енерговузла;

- схема приєднання не повинна вимагати додаткової реконструкції електричних мереж, окрім тієї, яка необхідна для видавання потужності СЕС;

- приєднання генеруючих установок до електричних мереж не повинно призводити до порушення нормативних вимог щодо надійності електропостачання, стійкості енергосистеми та якості електричної енергії [5].

Керування інверторами здійснює АСУ СЕС, що будується на базі шаф АСУ та встановлюються в кожній інверторній ТП, за допомогою контролерів. Принципи їх роботи реалізовані за різними законами керування, серед яких такі, як:

- пропорційно-інтегральний (PI);
- пропорційно-резонансний (PR);
- прогнозуючий (DB).

Таблиця 1 – Значення коефіцієнту гармонійних складових

Закон керування контролером	Значення коефіцієнту K_u , %
PI	6,9
PR	7,5
DB	7,8

Найкращим виявився PI контролер, особливість роботи якого полягає в простоті його реалізації та в найменшому гармонійному спотворенню сигналу на його виході в нормальних режимах роботи [3].

Велике значення для аналізу впливу СЕС на показники якості електроенергії в системі має місце підключення та потужність джерела. Приєднання СЕС до мережі може покращити рівні напруг у вузлах системи, але необхідно передбачити резерв потужності в системі для покриття дефіциту потужності у випадку раптового відімкнення через природні фактори. Зміна амплітуди та характеру потужності в місцевих електромережах завдяки підключенню джерел нетрадиційної енергетики зумовлює розгляд питань аналізу параметрів якості електроенергії, яку отримують від сонячних електростанцій [2].

Оцінку впливу СЕС на режим напруги розглянуто на прикладі приєднання фотогальванічної електричної станції, потужністю 15 МВт, до електричних мереж ПАТ "Запоріжжяобленерго" в районі існуючої ПС 150/35/10 кВ "Велика Белозірка" (рис. 2) у Великобілозерському районі Запорізької області.

Виходячи з встановленої потужності ФЕС, необхідно обрати схему приєднання двома магістралями.

Розраховані нормальні режими мережі при генерації 20%, 50% та 100% від встановленої потужності ФЕС. Результати розрахунку режиму напруги в прилеглий мережі за різних режимів генерації ФЕС наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Зміна режиму напруги у прилеглий мережі за різних режимів навантаження ФЕС

№ з/п	Генерація ФЕС, МВт	Напруга на шинах ФЕС, кВ
1	0	34,4
2	3	34,5
3	7,5	34,5
4	15	34,6

Аналіз результатів табл. 2 показує, що приєднання ФЕС незначним чином впливає на режим напруги прилеглої мережі. Для оцінки регульовальних можливостей ФЕС розраховано режими роботи станції при $\cos(\varphi)=1, +0,9, -0,9$ за умови генерації ФЕС 15 МВт. Результати розрахунку представлено в табл. 3.

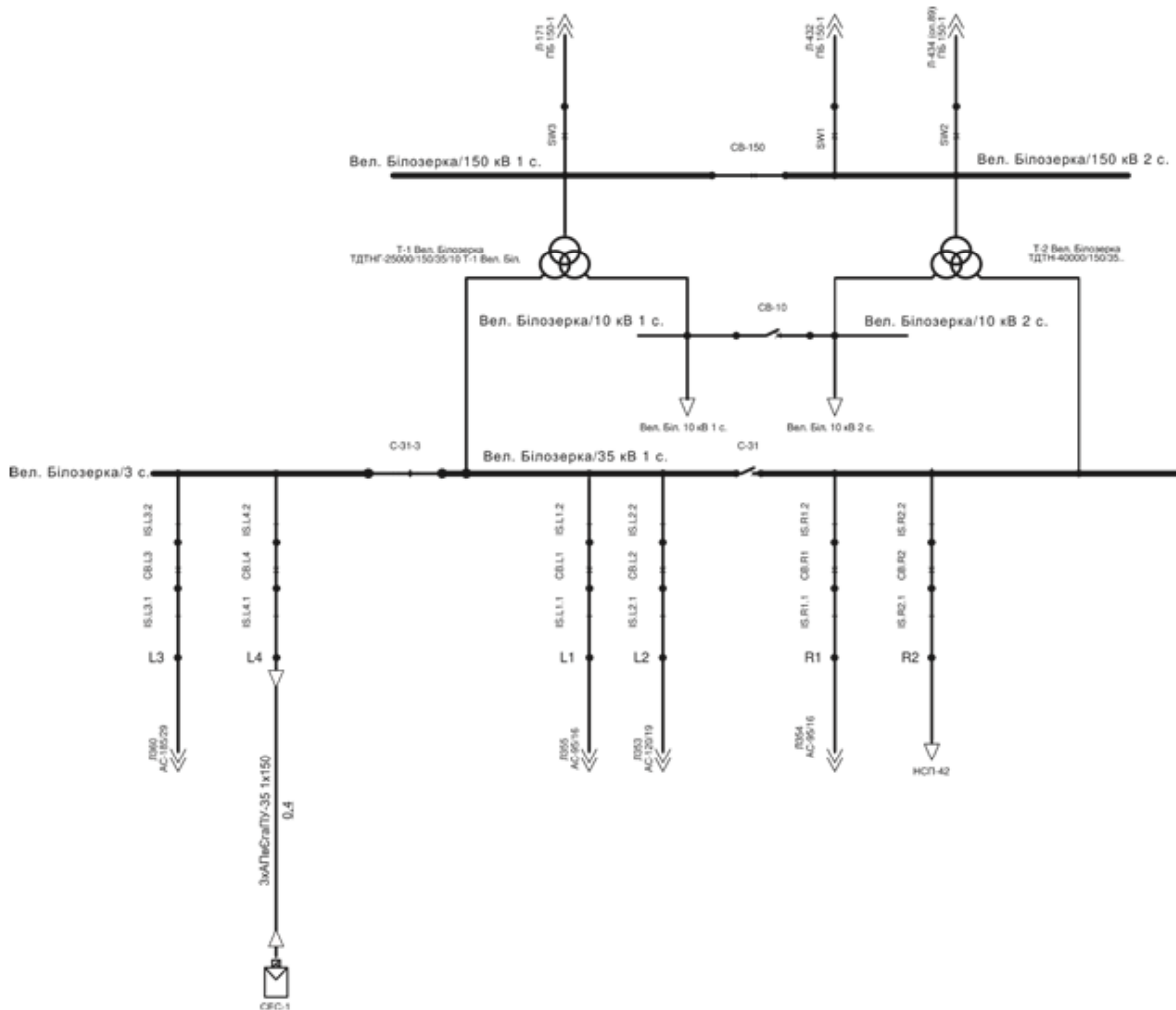


Рисунок 2 – Схема видачі потужності СЕС на РУ 35 кВ ПС 150/35/10 кВ «Велика Білозерка»

Таблиця 3 – Зміна режиму напруги у прилеглий мережі за різних режимів реактивної потужності ФЕС

№ з/п	Потужність ФЕС, МВА	Напруга на шинах ФЕС, кВ
1	$0+j0$	34,4
2	$15+j0$	34,6
3	$15+j7,265$	35,8
4	$15-j7,265$	33,4

З табл. 3 видно, що регулювальні можливості ФЕС дозволяють змінювати напругу у прилеглий мережі у достатніх межах для виконання регулювання напруги та компенсації її підвищення від увімкнення ФЕС. Відповідно, якість електричної енергії залишається на допустимому рівні.

Висновки. В ході проведення досліджень було розглянуто принципи організації, технічні аспекти виконання та основні вимоги до інверторних трансформаторних підстанцій, а також, здійснено аналіз схем приєднання СЕС до електричних мереж. Розглянуті матеріали показують, що існує широкий

вибір контролерів керування інверторами, які реалізовані за різними законами керування, що безпосередньо впливає на параметри електричної енергії.

Аналіз отриманих даних показав, що включення СЕС в електромережу до ПС 150/35/10 кВ «Велика Білозерка» значно підвищує надійність роботи електромережі, знизить технологічні витрати електромереж, підтримує якість електроенергії на необхідному рівні та частково розвантажить традиційні електростанції. Також, даний проект СЕС вносить свою частку в програму розвитку відновлюваної енергетики в Україні.

Перелік посилань

1. Технічні аспекти впровадження джерел розподіленої генерації в електричних мережах / Укл. Академік НАН України О.В. Кириленко, канд. техн. наук Л.М. Лук'яненко, к.т.н. В.В. Павловський. Інститут електродинаміки НАН України, 2010.- 8 с.

2. Аналіз показників якості електроенергії сонячної електростанції /Укл. Я.В. Бацала, І.В.Гладь, У.М. Николин. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013.- 10с.

3. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС /Укл. П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, І.О. Гунько. Вінниця: ВНТУ, 2015.- 12 с.

4. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Електрична частина станцій та підстанцій" для підготовки бакалаврів усіх форм навчання за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з навчанням за освітніми програмами "Енергетичний менеджмент" та "Електротехнічні системи електроспоживання" частина 2 /Укл. О.М. Климко, Д.В. Федоша, О.І.Кузьменко. Запоріжжя: ЗНТУ, 2019.- 46 с.

5. Стандарт підприємства «Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їх роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України». СОУ НЕК 341.001:2019.- 33 с.