

Бондар О. І., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

УДК 621.311

Підходи щодо моделювання та інтеграції відновлювальних джерел до системи тягового електропостачання залізниць України

Подано рекомендації щодо моделювання та приєднання сонячних та вітрових електростанцій до тягових підстанцій залізниць України.

Проблема енергетичної незалежності України має ряд аспектів, одним із яких є використання енергії відновлювальних джерел електроенергії (ВДЕ) у системах тягового електропостачання. На сьогодні в Україні опубліковано два документи, які регламентують вимоги щодо приєднання сонячних та вітрових електростанцій до промислових електричних мереж:

- Вимоги до вітрових та сонячних фотоелектричних електростанцій щодо приєднання до зовнішніх електричних мереж [1];
- Під'єднання об'єктів вітроенергетики до електричних мереж. Порядок та вимоги [2].

Документ [1] визначає основні вимоги до вітрових та сонячних фотоелектричних електростанцій (тобто до електростанцій, які використовують статичні електронні перетворювачі енергії) потужністю від 150 кВт щодо приєднання до електричних мереж загального призначення. Приєднання до електричних мереж інших видів відновлювальних джерел, які використовують синхронні генератори, що безпосередньо приєднуються до електричних мереж, регламентується іншими чинними в Україні нормативними документами.

У той же час існує ряд специфічних лімітуючих факторів при підключенні ВДЕ до систем тягового електропостачання залізниць України: установлена потужність головних зни-

жувальних трансформаторів тягових підстанцій, комутаційні можливості вимикачів приєднань, наявність необхідних видів релейного захисту в складі відповідних розподільних установок тягових підстанцій. Пошук шляхів розв'язання більшості зазначених проблем потребує аналізу аварійних режимів роботи електричної системи «ВДЕ — тягова підстанція», а отже, і розробки відповідних математичних моделей. Зауважимо, що вищезазначені питання залишаються сьогодні поза увагою дослідників. Існуючі роботи з подібної тематики, наприклад [3–4], в основному присвячені питанням використання енергії відновлюваних джерел електроенергії в промисловості або для живлення автономних споживачів, тому задача аналізу аварійних режимів роботи зазначених вище систем є актуальною.

Принципово різна фізична природа джерел електричної енергії в складі сонячних та вітрових електростанцій (СЕС та ВЕС) обумовлює відмінності в значеннях параметрів їхніх схем заміщення, що, у свою чергу, впливає на характер зміни струмів короткого замикання (к. з.) у приєднаних до них електроустановках.

Оскільки СЕС представляє собою джерело струму, для спрощення розрахунків за допомогою діючих значень струмів та внутрішньої провідності джерела струму перейдемо від реального джерела струму до еквівалентного реального джерела електрорушійної сили (ЕРС) (рис. 1).

У той же час при потужності ВЕС порядку декількох мегават суттєвою відмінністю є те, що виходячи з характеристик первинного генератора цю електростанцію можна вважати реальним джерелом напруги. При цьому його внутрішній опір на відміну від СЕС пропонується вважати індуктивним. Схема заміщення електротехнічного комплексу «СЕС — тягова підстанція» у режимі короткого замикання на шинах підстанції представлена на рис. 2.

У разі приєднання ВЕС відповідна схема заміщення матиме вигляд рис. 3.

У якості прикладу наведемо результати розрахунків струмів короткого замикання на шинах 10 кВ тягової підстанції Самбір Львівської залізниці при можливому приєднанні до неї СЕС та ВЕС різних потужностей на основі моделей відповідних до рис. 2 та 3.

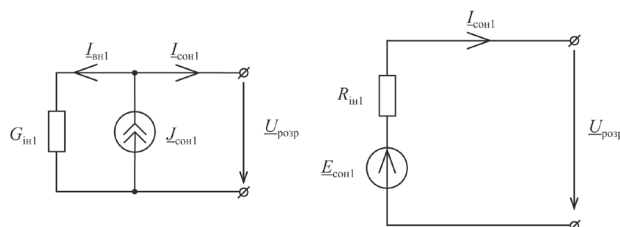
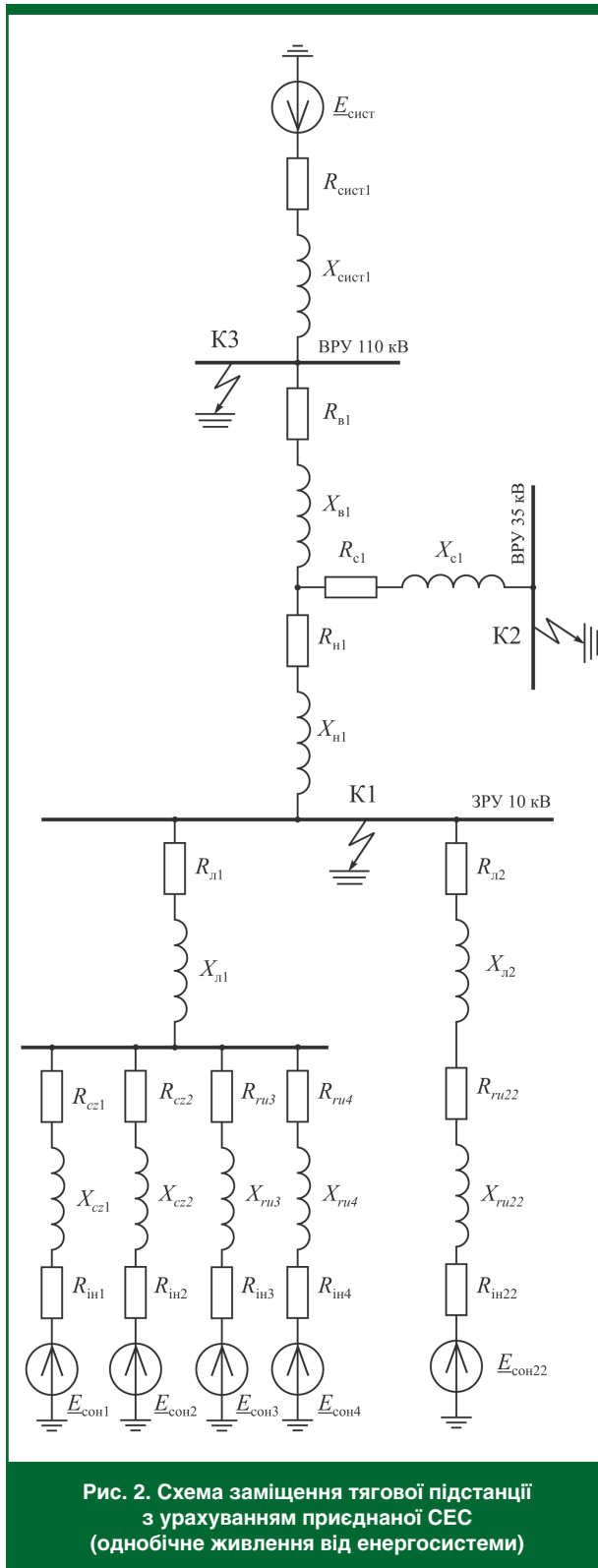


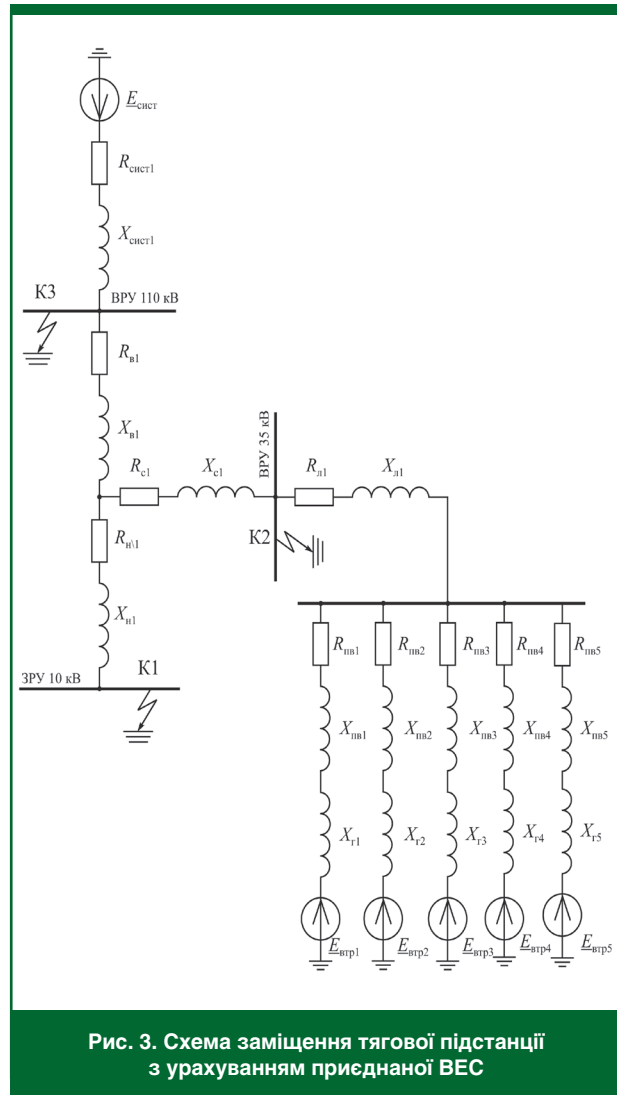
Рис. 1. Схема переходу від джерела струму до джерела ЕРС



ВИСНОВКИ

З урахуванням викладеного вище під час розробки технічних умов на приєднання ВДЕ до об'єктів системи електропостачання залізниць України пропонується враховувати такі міркування:

1. Доцільну точку приєднання, пов'язаний з цим обсяг модернізації обладнання тягової підстанції, необхідність установлення додаткових видів релейного захисту визначати



на основі техніко-економічного обґрунтування окремо для кожного нового об'єкта, що планується до підключення, якщо його потужність перевищує 5 МВт.

2. Підключення має здійснюватись з урахуванням вимог існуючих нормативних документів, зокрема для ВЕС потужністю до 70 МВт ГKD 341.003.001.001-2000 «Під'єднання об'єктів вітроенергетики до електричних мереж» та ГKD 341.003.001.002-2000 «Правила проектування вітряних електричних станцій»; для СЕС приєднання здійснюється на основі чинних нормативних документів щодо приєднання електростанцій до електричних мереж загального призначення.
3. При виборі точки приєднання до тягової підстанції перевагу слід надавати шинам вищої напруги (110 або 35 кВ). Якщо передбачається приєднання не до шин вищої напруги тягової підстанції, рекомендовано здійснювати приєднання ВДЕ таким чином, щоб потужність приєднаного джерела не перевищувала потужності нетягових споживачів, яка розподіляється на даному рівні напруги.
4. Ураховуючи те, що фотоелектрична панель має високий внутрішній опір і відповідно струм СЕС у режимі к. з. незначно відрізняється від струму робочого режиму при приєднанні електростанцій цього типу, необхідно передбачати струмовий захист, який унеможливило б підживлення місця к. з. в системі тягового електропостачання за рахунок СЕС. Таким чином, для приєднань, через які підключена соняч-

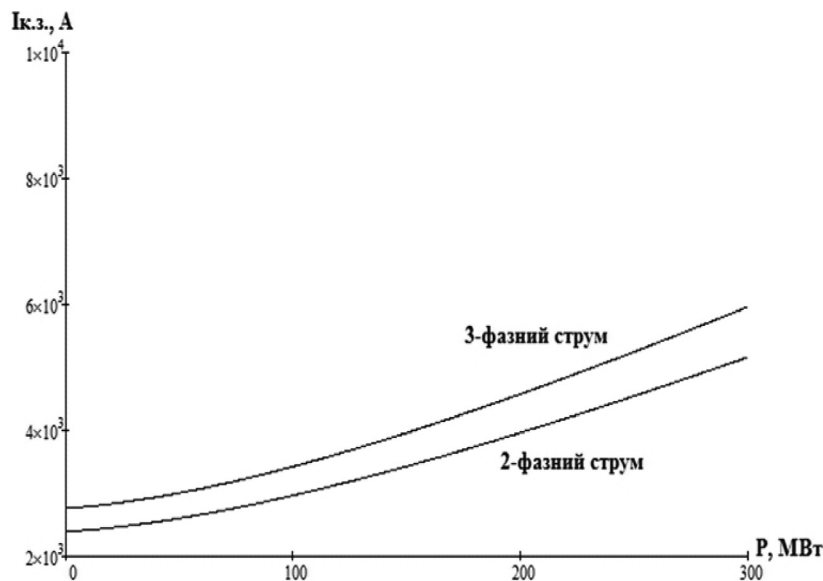


Рис. 4. Графік залежності трифазного та двофазного струму к. з. при приєднанні СЕС різної потужності на шинах 10 кВ

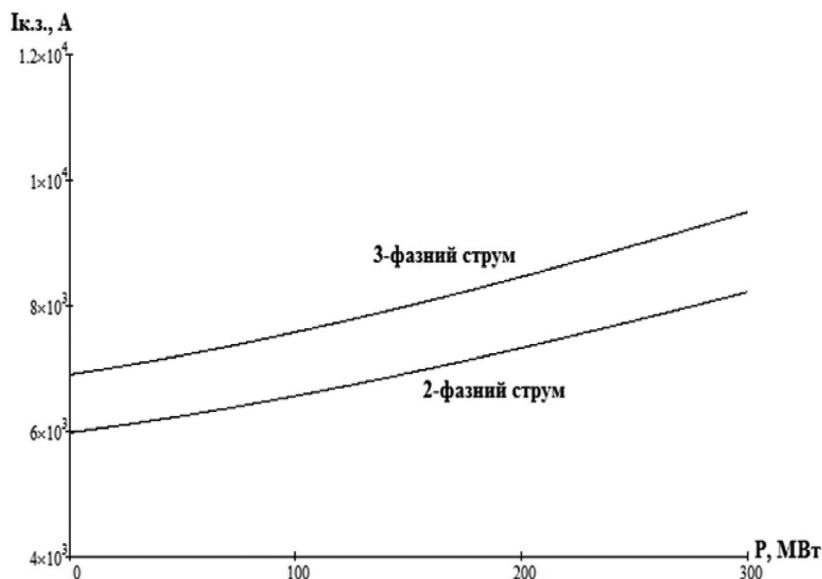


Рис. 5. Графік залежності трифазного та двофазного струму к. з. при приєднанні ВЕС різної потужності на шинах 10 кВ

на електростанція, доцільним є застосування струмового захисту з блокуванням по напрузі.

- Зазначений вище ефект не є характерним для ВЕС, внутрішній опір якої є принципово меншим, ніж для СЕС. Відповідно приєднання ВЕС при рівній з СЕС потужністю викликає більш

значне зростання струмів короткого замикання на шинах тягової підстанції (рис. 4–5).

- Можливість підключення ВДЕ безпосередньо до шин, де одночасно під'єднано тягове навантаження (27,5 кВ) або тягові агрегати (10 кВ), лишається відкритим й потребує по-

дальших досліджень, урахувавши різкозмінний характер тягового навантаження, великі пускові струми електровозів на фідерній зоні, несиметричність завантаження системи тяги змінного струму, необхідність досліджень зміни гармонічного складу тягового струму та його впливу на роботу пристроїв СЦБ, забезпечення надійного функціонування та захисту систем живлення власних потреб тягової підстанції. На даному етапі доцільно рекомендувати розглядати можливість підключення на напрузі 6 або 10 кВ до трансформаторних підстанцій районів електричних мереж, що отримують живлення від шин 6 або 10 кВ тягових підстанцій.

Залишається також актуальною потреба подальших досліджень сумісної роботи систем релейного захисту на всіх ділянках зазначеного комплексу, а також питання динамічної стійкості відповідних електричних систем.

Локомотив

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- Вимоги до вітрових та сонячних фотоелектричних електростанцій щодо приєднання до зовнішніх електричних мереж [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.uself.com.ua/fileadmin/documents/Wind_and_Solar_PV_Tech_Req_Final_Version_Ukrainian.pdf.
- Під'єднання об'єктів вітроенергетики до електричних мереж. Порядок та вимоги [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://normativ.org.ua/types/tdoc18738.php>.
- Ильин А. К. Нетрадиционные источники энергии для автономных потребителей [Текст] / А. К. Ильин, В. В. Пермяков. — Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 1997. — 36 с.
- Ковалев О. П. Возобновляемые источники энергии и энергообеспечение автономных потребителей [Текст] / О. П. Ковалев // Труды ДВГТУ. — Вып. 134. — Теплоэнергетика. — Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003. — С. 16–20.

УДК 621.311
Бондарь О. И.

Подходы к моделированию и интеграции возобновляемых источников в систему тягового электроснабжения железных дорог Украины

Даны рекомендации по моделированию и присоединению солнечных и ветровых электростанций к тяговым подстанциям железных дорог Украины.

UDK 621.311
Bondar O.

The ways of renewable electric power sources' modeling and integration to the electric power supplying system of Ukrainian railways.

This paper contains recommendations for modeling and connection of wind parks and solar electric generating stations to the traction substations of Ukrainian railways.

Отримано 30.09.2014