

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВДЕ НА СТРУМИ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ: ОГЛЯД СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У роботі здійснено аналіз сучасних вітчизняних та закордонних наукових публікацій, присвячених проблематиці впливу відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) інверторного типу на струми короткого замикання. Узагальнено результати досліджень щодо відмінностей у перехідних процесах між традиційними синхронними генераторами та інверторними установками, а також їх вплив на релейний захист.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, струм короткого замикання, інвертор, огляд досліджень, релейний захист.

Abstract

The paper analyzes modern domestic and foreign scientific publications devoted to the problem of the impact of inverter-type renewable energy sources (RES) on short-circuit currents. The results of studies on the differences in transient processes between traditional synchronous generators and inverter installations, as well as their impact on relay protection, are summarized.

Keywords: solar radiation, temperature, dust, precipitation, photovoltaic system, efficiency.

Вступ

Стрімке зростання частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у світовому енергетичному балансі ставить нові виклики перед експлуатацією електричних мереж. На відміну від традиційних електростанцій, більшість об'єктів ВДЕ підключаються до мережі через силові інвертори. Як показує аналіз сучасної науково-технічної літератури, це докорінно змінює фізику перехідних процесів під час аварій. Метою даної роботи є узагальнення та аналіз актуальних досліджень щодо впливу інверторної генерації на рівні струмів короткого замикання (КЗ) та роботу пристроїв захисту.

Результати дослідження

Аналіз передових досліджень [1, 2] свідчить, що головною відмінністю ВДЕ від синхронних машин є відсутність значних електромагнітних перехідних струмів. Закордонні дослідники у своїх працях наголошують, що через теплову вразливість напівпровідникових ключів (IGBT-транзисторів) алгоритми управління інверторами штучно обмежують струм КЗ на рівні 1.2–2.0 від номінального значення [1, 3]. Це означає, що при близьких пошкодженнях СЕС або ВЕС не створюють потужного ударного струму, який є характерним для класичної генерації.

У роботі [4] проаналізовано вплив цих обмежень на релейний захист розподільних мереж. Автори доводять, що низький рівень струмів підживлення від інверторів призводить до так званого «засліплення» захисту (protection blinding) та порушення селективності роботи запобіжників і реклоузерів. Відповідно, класичні струмові захисти можуть просто не відчувати аварію.

Окремий пласт досліджень присвячений математичному моделюванню таких процесів. Згідно з дослідженнями [2, 5], використання традиційних моделей на основі постійної електрорушійної сили (ЕРС) за перехідним опором для інверторів є некоректним. Інвертори поведуться як нелінійні джерела струму, керовані напругою, тому розрахунок струмів КЗ потребує застосування ітеративних методів [2].

В українській науковій та нормативній практиці ці проблеми також знаходять відображення. Як зазначають вітчизняні дослідники [6, 7], зниження загальної інерції енергосистеми та зміна характеру струмів КЗ вимагають перегляду підходів до оцінки стійкості. Крім того, згідно з новим стандартом ДСТУ EN 60909-3:2022 [8], розрахунки струмів пошкодження у мережах з ВДЕ повинні обов'язково

враховувати алгоритми обмеження струму, які закладені виробниками інверторного обладнання.

Висновки

На основі проведеного аналізу наукових джерел можна зробити висновок, що інтеграція ВДЕ принципово змінює картину струморозподілу при коротких замиканнях. Більшість дослідників сходяться на думці, що струмообмежувальний характер інверторів знижує термічну та динамічну дію струмів КЗ на обладнання, проте створює критичні проблеми для чутливості існуючого релейного захисту. Для вирішення цих проблем світова та вітчизняна наука пропонує перехід до адаптивних алгоритмів захисту та ітеративних методів розрахунку аварійних режимів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Estimation Method of Short-Circuit Current Contribution of Inverter-Based Resources for Symmetrical Faults / *Energies*, 2023, 16(7), 3130. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/7/3130>
2. A Practical Short-Circuit Current Calculation Method for Renewable Energy Plants Based on Single-Machine Multiplication / *Energies*, 2025, 6(1), 7. URL: <https://www.mdpi.com/2673-4826/6/1/7>
3. Optimizing Fault Ride-Through of DGs in Distribution Networks to Preserve Recloser-Fuse Coordination / *IEEE Systems Journal*, 2024. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/iel7/6287639/10380310/10445173.pdf>
4. Re-thinking Short-Circuit Current Contribution from Type IV Wind Turbines: A Perspective into How Standardization Can Be Improved / 2024 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), 2024. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10688914/>
5. A Short-Circuit Current Calculation Model for Renewable Power Plants Considering Internal Topology / *Applied Sciences*, 2024, 14(22), 10745. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/22/10745>
6. Тептя В. В., Кулик В. В. Електромеханічні перехідні процеси в електроенергетичних системах. Конспект лекцій. Вінниця: ВНТУ, 2021. – 183 с.
7. Свиридов М. П., Тептя В. В. Перехідні процеси. Розрахунок статичної і динамічної стійкості електричної мережі : навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. – 99 с.
8. ДСТУ EN 60909-3:2022 Струми короткого замикання в трифазних системах змінного струму. Частина 3. Струми під час двох окремих одночасних коротких замикань лінія-земля та часткових струмів короткого замикання, що протікають через землю.

Калашник Євгеній Юрійович — студент групи ВДЕ-236, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kalashnykevgenij@gmail.com

Науковий керівник: **Тептя Віра Володимирівна** — доц. кафедри ЕСС, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: teptya.v.v@vntu.edu.ua

Kalashnyk Yevheniy Y. — Department of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kalashnykevgenij@gmail.com

Supervisor: **Teptia Vira V.** — Associate Professor Department of Electrical Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: teptya.v.v@vntu.edu.ua