

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ВРАХУВАННЯМ ВДЕ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі досліджені основні показники надійності роботи електричних мереж в тому числі і з відновлювальними джерелами енергії. Розглянуті показники надійності електропостачання дозволяють характеризувати одну зі складових частин якості електропостачання. Було проаналізовано шляхи оцінювання відхилення напруги та коефіцієнтів гармонік напруги та струму для дотримання вимог по забезпеченню якості електричної енергії.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, показники надійності, якість електропостачання

Abstract

The main indicators of reliability of electric networks, including with renewable energy sources are investigated in the work. The considered indicators of reliability of power supply allow to characterize one of components of quality of power supply. Ways of estimating voltage deviation and voltage and current harmonic coefficients for compliance with electricity quality requirements were analyzed.

Key words: renewable energy sources, reliability indicators, power supply quality

Вступ

У 2015 році наша держава однією з перших ратифікувала Паризьку Кліматичну угоду, тим самим підтвердивши свої наміри та зобов'язання інтегруватись в енергосистему ЄС та провести енергореформи у рамках вимог III енергетичного пакету, що передбачає в тому числі і створення сприятливих умов для введення нових енергогенеруючих потужностей відновлювальних джерел електроенергії (ВДЕ) [6]. Національний план дій з відновлювальної енергетики на період до 2022 р. передбачає, що частка генерування з відновлювальних джерел енергії в кінцевому енергоспоживанні має сягнути 14% [2].

Результати дослідження

Згідно стандарту IEEE 1366-2012 [3] та Постанови НКРЕКП «Про затвердження цільових показників надійності (безперервності) електропостачання на 2018 рік», визначено основні показники надійності роботи електричних мереж в тому числі і з відновлювальними джерелами енергії, що характеризують кількісно та якісно перерви в електропостачанні.

Класифікація переривань в електропостачанні згідно ДСТУ EN 50160:2014:

а) заплановані, коли споживача заздалегідь інформують про них;

б) аварійні, які спричинено тривалими чи короткочасними короткими замиканнями, які найчастіше є наслідками зовнішніх подій, виходу з ладу обладнання чи стороннього втручання в його роботу. Випадкові перериви класифікують як:

1) довгі переривання (довше ніж три хвилини);

2) короткочасні переривання (включно до трьох хвилин).

Для них введені наступні показники.

– System Average Interruption Frequency Index / Показник середньої частоти відмов:

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T}, \quad (1.1)$$

де N_i – кількість перерв в електропостачанні споживачів за звітній період, N_T – загальна кількість споживачів в електричній мережі.

– System Average Interruption Duration Index / Показник середньої тривалості відмов

$$SAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{N_T}, \quad (1.2)$$

де r_i – час відновлення електропостачання, N_i – кількість перерв в електропостачанні споживачів за звітній період, N_T – загальна кількість споживачів в електричній мережі.

– Customer Average Interruption Duration Index. Показник середньої тривалості відмов окремих споживачів

$$CAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{\sum N_i}, \quad (1.3)$$

де r_i – час відновлення електропостачання, N_i – кількість перерв в електропостачанні споживачів за звітній період.

– Customer Total Average Interruption Duration Index / Показник кількості споживачів, що мають перерви в електропостачанні

$$CTAIDI = \frac{\sum r_i N_i}{CN}, \quad (1.4)$$

де r_i – час відновлення електропостачання, N_i – кількість перерв в електропостачанні споживачів за звітній період, CN – загальна кількість споживачів, які втрачали живлення протягом звітного періоду.

– Customer Average Interruption Frequency Index / Показник середньої частоти відмов

$$CAIFI = \frac{\sum N_i}{CN}, \quad (1.5)$$

де N_i – кількість перерв в електропостачанні споживачів за звітній період, CN – загальна кількість споживачів, які втрачали живлення протягом звітного періоду.

Average Service Availability Index / Показник готовності надання послуг

$$ASAI = \frac{N_T \times N_h - \sum r_i N_i}{N_T \times N_h}, \quad (1.6)$$

де r_i – час відновлення електропостачання, N_i – кількість перерв в електропостачанні споживачів за звітній період, N_T – загальна кількість споживачів в електричній мережі, N_h – у не високосний рік 8760 годин та 8784 у високосний.

– Customers Experiencing Multiple Interruptions / Кількість споживачів, що мають багатократні перерви в електропостачанні

$$CEMI = \frac{CN_{(k>n)}}{N_T}, \quad (1.7)$$

де N_T – загальна кількість споживачів в електричній мережі, CN – загальна кількість споживачів, які втрачали живлення протягом звітного періоду, k – кількість перерв живлення споживача за звітній період, n – загальна кількість споживачів електричної мережі, що аналізується.

– Average System Interruption Frequency Index / Показник середньої частоти відмов по навантаженню

$$ASIFI = \frac{\sum L_i}{L_T}, \quad (1.8)$$

де L_i – підключене навантаження кВА переривається для кожної події переривання, L_T – загальне підключене навантаження кВА, що надається.

– Average System Interruption Duration Index / Показник середньої тривалості відмов

$$ASIDI = \frac{\sum r_i L_i}{L_T}, \quad (1.9)$$

де r_i – час відновлення електропостачання, L_i – підключене навантаження кВА переривається для кожної події переривання, L_T – загальне підключене навантаження кВА, що надається.

– Momentary Average Interruption Frequency Index / Показник частоти короточасних відмов

$$MAIFI = \frac{\sum IM_i N_{mi}}{N_T}, \quad (1.10)$$

де IM_i – кількість споживачів в яких відбулась короткострокова перерва в електропостачанні, N_{mi} – кількість споживачів, в яких відбулось переривання в електропостачанні за кожен аварійний випадок в електричній мережі, N_T – загальна кількість споживачів в електричній мережі.

– Momentary Average Interruption Event Frequency Index / Показник подій, що спричинили короточасні відмови

$$MAIFI_E = \frac{\sum IM_E N_{mi}}{N_T}, \quad (1.11)$$

де IM_E – кількість споживачів в яких електричній мережі яких відбулась короткострокова аварія, що призвела до їх відключення, N_{mi} – кількість споживачів, в яких відбулось переривання в електропостачанні за кожен аварійний випадок в електричній мережі, N_T – загальна кількість споживачів в електричній мережі.

– Customers Experiencing Multiple Sustained Interruption and Momentary Interruption Events / Кількість споживачів що одночасно мають тривалі та короточасні відмови

$$CEMSMI_n = \frac{CNT_{(k>n)}}{N_T}, \quad (1.12)$$

де $CNT_{(k>n)}$ – загальна кількість споживачів, в яких було більше ніж n довгострокових та короткострокових перерв в електропостачанні, N_T – загальна кількість споживачів в електричній мережі, k – кількість перерв живлення споживача за звітний період, n – загальна кількість споживачів електричної мережі, що аналізується.

– Loss of load probability / Імовірність втрати навантаження

$$LOLP = \sum_{i=1}^T Q_i \sum_{k=1}^N P_{ik} (\Delta P_{ik}), \quad (1.13)$$

де $Q_i = 1/T$ – ймовірність ступені графіка навантаження, P_{ik} – ймовірність стану генерувальних потужностей пов'язаних з відмовою агрегатів, $\Delta P_{ik} = P_{Гik} - P_{Нik} < 0$ – дефіцит потужності в розподільних електричних мережах для k -го випадкового стану генерувальних потужностей.

– Розрахунковий обсяг недовідпущеної електроенергії, кВт год (далі – ENS) розраховується за формулою (1.14) як сума добутків кількості відключених точок продажу електричної енергії на тривалість довгої перерви та на середнє споживання електроенергії на відповідному рівні напруги:

$$ENS = \sum_{l=1}^6 \sum_{i=1}^k \frac{n_i^{z_l} \cdot t_i \cdot Q^{z_l}}{43800}, \quad (1.14)$$

де z_l – ознака рівня напруги та відповідності території, i – номер довгої перерви в електропостачанні, $i = 1, 2 \dots k$, $n_i^{z_l}$ – кількість точок продажу електричної енергії, відключених внаслідок i -го довгого переривання з z -ю ознакою рівня напруги та відповідної території, t_i – тривалість i -ї довгої перерви в електропостачанні, Q^{z_l} – середньомісячне споживання електричної енергії в попередньому році на одну точку продажу електричної енергії з z_l -ю ознакою рівня напруги та відповідної території, тис. кВт·год, 43800 – звітний період часу (середньомісячний за рік), перерахований у хвиликах.

У нормальних робочих умовах річна частота переривань напруги, що перевищують три хвилини суттєво відрізняються між регіонами. Ця різниця має місце, окрім інших чинників, унаслідок відмінностей у побудові систем (тобто кабельні або повітряні лінії), у навколишньому середовищі та в кліматичних умовах. Щоб отримати інформацію про очікувані події, треба консультуватися з оператором локальної мережі. У різних країнах існує національна статистика щодо переривань, яка містить орієнтовні значення. Узагальнюваний звіт щодо якості напруги, виданий Радою Європейських органів регулювання в енергетиці (CEER), містить певну статистику у деяких європейських країнах і огляд відповідних стандартів, що регламентують тривалі переривання. Під час порівняння статистичних даних щодо тривалих переривань необхідно враховувати принципи узагальнення статистики подій.

Розглянуті показники надійності електропостачання (1.1–1.14) дозволяють характеризувати одну зі складових частин якості електропостачання. Проте, таких показників досить багато і розбіжності між ними часто залежать від одиниць вимірювання, звітного періоду (хвилини або години) або обчислення одного показника. Наприклад, SAIDI дозволяє говорити про відповідність нормативу показника середньої тривалості відмов окремих споживачів (CAIDI, STAIIDI) та показника середньої тривалості відмов (ASIDI). А аналіз показника SAIFI, дає базову інформацію про показники середньої частоти відмов (ASIFI та CAIFI) і т.д.

Виходячи з цього, пропонується використання лише основних показників надійності (ПН) – SAIFI, SAIDI, ENS, MAIFI, в разі необхідності можна також скористатися, показниками експлуатаційної готовності (ASAI) та експлуатаційного простою обладнання (ASUI) [9]. Використання даних показників, для оцінювання надійності роботи локальних електричних систем, як складових електричних мереж, обумовлено ще і тим, що показники ASAI та ASUI дозволяють оцінити збитки власників станції на базі ВДЕ. Наприклад, ФЕС, що розміщена поблизу споживачів, в разі недовідпуску електроенергії внаслідок аварії на лінії електропередачі (ЛЕП) на шляху до споживача або до ПС.

Аналіз показників якості електричної енергії мереж з ВДЕ

Для дотримання вимог по забезпеченню якості електричної енергії, а саме, відхилення напруги відповідно до діючого нормативу ДСТУ EN 50160:2014, $\pm 5\%$ та коефіцієнтів гармонік напруги та струму (THD-F, THD-R) було проаналізовано шляхи їх оцінювання.

Згідно [2], напруга гармоніки – синусоїдальна напруга з частотою, яка пропорційна з цілим множителем основній частоті напруги електропостачання.

Напруги гармонік може бути оцінено:

– індивідуально через відносну амплітуду напруги окремої гармоніки (U_h), віднесеною до напруги основного складника U_1 , де h – це порядок гармоніки.

– інтегрально, наприклад, через сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень (СКГС) THD, який обчислюють за формулою:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2}, \quad (1.15)$$

Напруги гармонік електропостачання спричинено, в основному, нелінійними навантаженнями споживачів підключеними до мереж електропостачання всіх рівнів напруги (табл. 1). Електричні струми гармонік, які протікають через опір мережі, збільшують величини напруг гармонік.

Оцінювання рівнів гармонійної складової синусоїди напруги для різних класів напруг відрізняється.

Таблиця 1. – Класифікація рівнів напруги в точці комерційного обліку електроенергії

Рівень напруги	Напруга (U_n)
4 (надвисока напруга)	$U_n > 154$ кВ
3 (висока напруга)	$35 \text{ кВ} \leq U_n \leq 154$ кВ
2 (середня напруга)	$1 \text{ кВ} < U_n < 35$ кВ
1 (низька напруга)	$U_n \leq 1$ кВ

Рівень напруги, як характеристики точки комерційного обліку (ТКО), встановлюється відповідно до [3], в залежності від величин номінальної напруги " U_n " у точці вимірювання (у разі застосування вимірювальних трансформаторів – у точці підключення високовольтної обмотки трансформатора струму), до якої відноситься ТКО.

За нормальних робочих умов протягом кожного тижневого періоду 95% середньоквадратичних значень напруги кожної гармоніки, усереднених на 10-ти хвилинному проміжку, мають бути меншими чи рівними значенням, що їх наведено в таблиці 1. Резонанси можуть спричинювати вищі напруги окремих гармонік. Окрім того, СКГС напруги електропостачання (ураховуючи всі гармоніки до 40-ої включно) мають бути меншими чи рівними 8 %.

Величини напруг окремих гармонік для електричних мереж низького і середнього класу напруги (табл. 2.) ідентичні. Проте під час розрахунку слід брати різну номінальну напругу, для різних мереж.

Таблиця 2. – Величини напруг окремих гармонік до 25-го порядку в точках приєднання, у відсотках від напруги основного складника U_1 ,

Непарні гармоніки						
Не кратні 3			Кратні 3		Парні гармоніки	
Порядок h	Відносна амплітуда $U_h, \%$	Порядок h	Відносна амплітуда $U_h, \%$	Порядок h	Відносна амплітуда $U_h, \%$	
5	6	3	5	2	2.0	
7	5	9	1,5	4	1.0	
11	3.5	15	0.5	6,8...24	0.5	
13	3	21	0.5			
17	2					
19	1.5					
23	1.5					
25	1.5					

За нормальної роботи електричних мереж високої напруги протягом кожного тижневого періоду 95% середньоквадратичних значень напруги кожної гармоніки, усереднених на 10-ти хвилинному проміжку, мають бути меншими чи рівними орієнтовним значенням, що їх наведено в таблиці 3. Резонанси можуть спричинювати вищі напруги окремих гармонік. При цьому частина характеристик гармонійних складових вищих порядків ще знаходяться на доопрацюванні:

1. Норми для кожної окремої гармоніки — на розгляді.
2. Норма для СКГС напруги електропостачання (ураховуючи всі гармоніки до 40-ої включно) — на розгляді.
3. Обмеження порядку гармонік до 40 є загальноприйнятим. Для отримання необхідної точності вимірювання треба використовувати відповідний тип трансформатора напруги, особливо під час вимірювання гармонік високих порядків;

Таблиця 3. – Величини напруг окремих гармонік до 25-го порядку в точках приєднання, у відсотках від напруги основного складника U_1 ,

Непарні гармоніки				Парні гармоніки	
Не кратні 3		Кратні 3			
Порядок h	Відносна амплітуда $U_h, \%$	Порядок h	Відносна амплітуда $U_h, \%$	Порядок h	Відносна амплітуда $U_h, \%$
5	5	3	3	2	1,9
7	4	9	1.3	4	1.0
11	3	15	0.5	6,8...24	0.5
13	2.5	21	0.5		
17	на розгляді				
19	на розгляді				
23	на розгляді				
25	на розгляді				

У випадку виявлення скарг норми на гармоніки в мережах високої напруги (ВН) установлюють, орієнтуючись на норми для середньої напруги (СН), коригуючи їх на величину D згідно з наведеною нижче формулою:

$$\text{Норма ВН} = \text{Норма СН} - D.$$

Якщо ухвалюють нормативні документи, у яких установлено нижчі ніж наведені рівні гармонік, то величину D погоджують між собою оператор мережі високої напруги та підключений споживач.

Висновок

Для досягнення максимального ефекту від впровадження відновлювальних джерел енергії з огляду на можливість забезпечення нормативних показників по надійності (безперебійності) електропостачання можна досягти враховуючи технічний стан електричної мережі, до якої вони приєднуються [6].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Постанова НКРЕКП «Про затвердження Порядку забезпечення стандартів якості електропостачання та надання компенсацій споживачам за їх недотримання» від 12.06.2018.
2. Постанова НКРЕКП №309 «Про затвердження кодексу систем передачі» від 14.03.2018.
3. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 р. № 2019-VIII. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
4. Постанова НКРЕКП №375 «Про затвердження Порядку забезпечення стандартів якості електропостачання та надання компенсацій споживачам за їх недотримання» від 12.06.2018.
5. Petro Lezhniuk, Vyacheslav Komar, Serhii Kravchuk, Volodymyr Netrebskiy, Vladyslav Lesko, Optimal Integration of Photoelectric Stations in Electric Networks, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019, 209p.

Поліщук Андрій Леонідович — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Казьмірук Олег Іванович — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Лесько Владислав Олександрович — канд. техн. наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leskovlad@ukr.net

Німа Наталія Іванівна — студентка групи 1ЕЕ-19б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Polishchuk Andriy L. — Ph.D., Associate Professor of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Kaz'miruk Oleh I. — Ph.D., Associate Professor of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Lesko Vladislav O. — Ph.D., Associate Professor of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leskovlad@ukr.net

Nima Natalia I — student of the faculty of electroenergetics and electromechanics, gr 1EE -19, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.