

УДК 621.316

*Олександр Коваленко, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електроенергетики та електротехнологій,
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного,
м. Запоріжжя, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СІЛЬСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Анотація. Споживачі, що живляться від сільських електричних мереж, можуть отримувати електричну енергію низької якості. Якість електричної енергії визначається набором відповідних показників, що регламентуються державними стандартами. Досліджено рівень основних показників якості електроенергії та їх вплив на роботу електрообладнання споживачів.

Ключові слова: електрична енергія, показники якості електричної енергії, державні стандарти, відхилення показників якості електричної енергії.

Abstract. Consumers supplied by rural electrical networks may receive electric power of low quality. The quality of electric power is determined by a set of relevant indicators regulated by national standards. This study examines the levels of the main quality indicators of electric power and their impact on the performance of consumers electrical equipment.

Keywords: electric power, electric power quality indicators, national standards, deviations in electric power quality indicators.

На сьогодні в сільських районах України, як і в інших розвинених країнах світу, усі процеси, як на виробничих об'єктах, так і у побуті електрифіковані. Переважна більшість споживачів у сільських районах країни забезпечуються електричною енергією від об'єднаної енергетичної системи. До об'єднаної енергетичної системи ставиться вимога надійного (безперебійного) забезпечення споживачів якісною електричною енергією.

Відомо, що якість електричної енергії – це сукупність певних властивостей електричної енергії відповідно до встановлених стандартів, які визначають ступінь її придатності для використання за призначенням.

Електропостачання виробничих та побутових споживачів у сільських районах характеризується певними особливостями. До цих особливостей можна віднести наступне [1]:

- велика кількість малопотужних споживачів, що розосереджені на значній території;
- електропостачання здійснюється переважно повітряними лініями електропередавання, які піддаються постійному впливу метеорологічних впливів (дощ, сніг, вітер, гроза, ожеледь, тощо);
- повітряні лінії напругою 0,38, 6 та 10 кВ мають велику протяжність, що суттєво впливає на ряд показників якості електроенергії;
- до мереж напругою 0,38 кВ під'єднана велика кількість однофазних споживачів.

У зв'язку із переліченими факторами споживачі, що живляться від розподільних мереж у сільських районах можуть отримувати електричну енергію не задовільної якості у порівнянні із споживачами промислових підприємств та міст. Це обумовлено конфігурацією, параметрами та режимами роботи таких мереж. Тому гостро стоїть завдання, щоб в сільських розподільних мережах якість електричної енергії, не поступалася якості в об'єднаній енергосистемі з потужними джерелами енергії. Ця проблема на тепер є актуальною.

Частіше за все саме відхилення напруги у вузлах сільських розподільних мереж під час їх експлуатації може значно перевищувати встановлені допустимі значення. Окрім того для сільських розподільних мереж характерним є небаланс напруги та понаднормові відхилення гармонійних складових струмів і напруг.

В нинішніх умовах, коли в країні гостро стоїть питання створення і впровадження розосередженої генерації, проблематика якості електричної енергії набуває особливого значення в тому числі і для сільських розподільних мереж. Наслідки низької якості електричної енергії відчуються на електрообладнанні кінцевих споживачів – як виробничих, так і побутових.

Станом на початок 2025 року в Україні діють два державні стандарти, що нормують якість електричної енергії: ГОСТ 13109-97 [2], який введено в дію з 1 січня 2000 року, та ДСТУ EN 50160-2014 [3], який введено в дію з 1 жовтня 2014 року. Характерним є те, що міждержавний стандарт ГОСТ 13109-97 на даний час не втратив чинності. При цьому необхідно відмітити, що в цих стандартах є ряд розбіжностей.

В ДСТУ EN 50160-2014 термінологію показників якості електроенергії. У цьому стандарті відсутній термін «гранично допустиме значення» для показників якості електроенергії. У загальному випадку ГОСТ 13109-97 має більш жорсткі вимоги до більшості показників якості електричної енергії в порівнянні із показниками ДСТУ EN 50160-2014 [2, 3].

У договорах, що складаються із споживачами, вказуються показники якості електричної енергії, що забезпечуються постачальником електричної енергії. Набір показників якості електроенергії, що є суттєвими для споживача, сторони встановлюють на підставі державних стандартів шляхом врахування і погодження пропозицій постачальника електричної енергії і споживача. Засоби і умови контролю показників якості електричної енергії зазначають у договорі. Підтримання переліку показників якості, що погоджений сторонами, є обов'язком для сторін договору» [4].

Із сказаного вище слідує, що на період до відміни чинності стандарту ГОСТ 13109-97, рішення про застосування стандарту ГОСТ 13109-97 або стандарту ДСТУ EN 50160:2014 має приймати організація, що забезпечує постачання електричної енергії. При цьому, слід враховувати відповідні більш жорсткі норми, для забезпечення обов'язковості виконання вимог двох стандартів. Наприклад, це стосується усталеного відхилення напруги (за ГОСТ 13109-97 нормально допустимі значення $\pm 5\%$ та гранично допустимі (аварійний режим) значення $\pm 10\%$) і такого безперервного явища, як змінена (коливання) напруги за ДСТУ EN 50160:2014, де вказується, що у нормальних робочих умовах, за винятком періодів, під час котрих відбувались переривання напруги, змінення напруги не

повинні перевищувати $\pm 10\%$ від величини номінальної напруги U_n . Таким чином більш жорсткими є норми за стандартом ГОСТ 13109-97.

Що ж стосується небалансу напруги, то більш жорсткими є норми ДСТУ EN 50160:2014. За цим стандартом небаланс напруг у трифазних точках підключення користувачів може досягати до 3%, тоді як за ГОСТ 13109-97 гранично допустимі значення коефіцієнта несиметрії напруг зворотної послідовності повинні знаходитися в межах $\pm 4\%$). Проте, в ДСТУ EN 50160:2014 є примітка, що даний стандарт може бути змінено повністю або частково відповідно до умов договору між споживачем та оператором мережі, що здійснює електропостачання. Таким чином, навіть більш жорсткі вимоги ДСТУ EN 50160:2014 можливо пом'якшити у відповідних договорах із споживачами. При цьому, в ГОСТ 13109-97 такі дії не передбачені [4].

При дотриманні визначених стандартами норм забезпечується електромагнітна сумісність обладнання електричних мереж і приймачів електроенергії.

Державні стандарти України встановлюють вимоги до таких основних показників якості електричної енергії в електричних мережах загального призначення: відхилення частоти напруги електропостачання; відхилення напруги; коливання напруги; провал напруги; показник флікера; небаланс напруг електропостачання; напруга гармонік; напруга інтергармонік; сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень; перенапруга, тощо [1]-[3].

Дослідження, що проводилися в ряді районів електричних мереж (РЕМ) показують, що в розподільних електричних мережах РЕМ низької (0,38 кВ) і середньої (6-10 кВ) напруги показники якості електроенергії перевищують допустимі за ДСТУ EN 50160:2014 значення.

Відмічається, що відхилення напруги на шинах 0,4 кВ трансформаторних підстанцій виходять за допустимі межі $\pm 10\%$ від $U_{ном}$. Коефіцієнти зворотної та нульової послідовності напруги також виходять за допустиму норму 2%. У ряді випадків на вводі до побутових споживачів мережі 0,38 кВ відхилення напруги

значно перевищує встановлені межі ($\pm 10\%$). Дуже часто цей показник (відхилення) знаходиться в межах $\pm 15\%$, а в ряді випадків навіть $\pm 20\%$. Це означає, що напруга на затискачах ряду електроприймачів може становити 180...190 та 255...265 кВ відповідно. Така ситуація є недопустимою, так як такі відхилення суттєво впливають на технологічні параметри електроспоживачів.

Основною причиною таких понаднормових відхилень рівня напруги є мала кількість споживчих трансформаторних підстанцій в сільських населених пунктах і, відповідно, значна протяжність розподільних мереж (фідерів) напругою 0,38/0,22 кВ. Вирішенням цієї проблеми є докорінна реконструкція розподільних мереж в сільських районах.

Широке впровадження нової техніки та технологій зумовлює повсякчасне застосування принципово нових технічних рішень, що на превеликий жаль супроводжуються погіршенням параметрів якості електроенергії. З іншого боку в сільських РЕМ спостерігається широке використання електронних схем з цифровим керуванням, що призводить до зниження завадостійкості приймачів електричної енергії та різкого зростання відмов у роботі чи їх хибних спрацювань. Тому виникає проблема розробки єдиних вимог до ПЯЕ та до захищеності обладнання від завад в електричних розподільних мережах.

Якість електричної енергії в ключових точках локальної мережі характеризується набором взаємопов'язаних показників, які залежать від параметрів мережевого обладнання та кабельної інфраструктури [4].

Державні стандарти України щодо якості електричної енергії (ГОСТ 13109-97 та ДСТУ EN 50160-2014) встановлюють допустимі відхилення основних параметрів електричної енергії, відхилення від яких може привести до порушення нормальної роботи споживачів. У разі відхилення показників якості понад допустимі значення, споживачі можуть виявитися несумісними в електромагнітному плані.

Якщо розглянути показники якості електричної енергії та електромагнітну сумісність мережевого обладнання та електрообладнання споживачів, то

виявляється, що між ними багато спільного. Такі показники, як небаланс напруг електропостачання, несиметрія, несинусоїдальність та коливання напруги можна віднести до електромагнітних перешкод. Не виконання вимог стандартів щодо якості електроенергії може спричинити виникнення та розвиток небезпечних явищ в електричній мережі.

Слід зауважити, що погіршення показників якості електроенергії пов'язане з наявністю пристроїв з нестабільним енергоспоживанням – асиметричним навантаженням та несинусоїдальними характеристиками споживання. Рівень взаємного впливу обладнання визначається його електромагнітною сумісністю [6].

Достовірна інформація про вміст гармонік та інтергармонік у напрузі живлення споживачів електричної енергії сільської розподільної мережі дає змогу належно реагувати на ситуацію та вибирати оптимальні параметри і режими наявних засобів для обмеження впливу гармонік на споживачів електричної енергії.

Більшість сучасної побутової техніки, що виконана на основі електронних схем, є причиною несинусоїдальних навантажень. Пов'язано це із широким вмістом гармонік, що викликає у пункті спільного приєднання з іншими споживачами ще більші збурення у мережі. Несинусоїдальний струм зокрема спричиняє втрати потужності. Тому перед підключенням певних електроприладів постає питання дослідження єдиних електромагнітних процесів, що протікають у локальній мережі і є спільними для всіх її елементів.

Досліджуючи проблему погіршення якості електроенергії в сільських електричних мережах, особливо в напрямку генерації вищих гармонічних складових напруги та струму, необхідно відзначити втрати електричної енергії в провідниках. Гармоніки третього порядку та кратні їм складаються в нейтральному провіднику, що призводить до зростання їх діючого значення. Як наслідок, струм в нейтральному провіднику може перевищувати фазний у кілька разів.

Застосування люмінесцентних ламп незалежно від наявності інших споживачів також призводить до спотворення синусоїдної форми струму в мережі [6].

Також джерелом вищих гармонік в електричних мережах 0,38/0,22 кВ є пристрої з безтрансформаторним джерелом живлення (ноутбуки, монітори, тощо).

Висновки. Якість електричної енергії є суттєвим фактором, що впливає на ефективну та безаварійну роботу електроприймачів. Досить часто в сільських електричних мережах та на затискачах електроприймачів відмічається значне відхилення від нормативних значень таких показників як відхилення напруги, небаланс напруги, тощо. Для виправлення ситуації необхідно реконструювати розподільні електричні мережі напругою 0,38, 6 та 10 кВ в сільських районах – збільшити кількість ТП та зменшити протяжність ліній.

Список використаних джерел

1. Коваленко О. І. Основи електропостачання: навч. посібник. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. 237 с.
2. ГОСТ 13109-97. Електрична енергія. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення. [Чинний від 2000.01.01]. Видання офіційне. Київ : Національний стандарт України, 1999. 31 с.
3. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. [Чинний від 2014.10.01]. Видання офіційне. Київ : Національний стандарт України, 2014. 27 с.
4. Трунова І. М., Мороз О. М. Деякі питання щодо застосування ДСТУ EN 50160:2014. *Праці ТДАТУ. Технічні науки*. 2015. Вип. 15, т. 2. С. 328-331.
5. Забезпечення електромагнітної сумісності в локальних електричних мережах / А. К. Шидловський та ін. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. Нові рішення в сучасних технологіях*. 2018. № 26, т. 1. С.174-183.
6. Бурбело М. Й. Електромагнітна сумісність і керування якістю електроенергії в системах електропостачання : електронний навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2023. 159 с.