

## МЕТОД НАРАХУВАННЯ ПЛАТИ ЗА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ ЗНИЖЕНОЇ ЯКОСТІ

Філянін Д. В.

*Інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"**Запропоновано новий підхід щодо нарахування плати за спожиту електроенергію в умовах наявності в електромережі джерел вищих гармонік.*

**Постановка проблеми.** Наявність нелінійних навантажень і зростання числа систем розподіленої генерації електроенергії призводять до спотворення форми кривих напруги і струму в системах електропостачання (СЕП), тобто до появи гармонік струму і напруги. Вплив гармонік загрожує порушенням роботи енергетичного обладнання та обладнання споживача.

Збитки, які несуть суб'єкти процесу розподілу електричної енергії від погіршення її якості понад допустимі норми [1], повинні оплачуватися винуватцями порушення якості.

Для цього необхідно визначити джерела гармонік, оцінити ступінь участі кожного елемента електричної мережі і абонента в порушенні синусоїдальності і розподілі потужності вищих гармонік, щоб за допомогою системи штрафів і санкцій стимулювати споживача, що спотворює параметри якості електроенергії, встановлювати себе компенсуюче обладнання та справедливо розподіляти кошти, отримані від джерел спотворення [2].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Економічні збитки, які несуть споживачі і енергосистема від впливу вищих гармонік на електрообладнання, поділяється на дві складові: електромагнітну та технологічну. Технологічна складова збитку від несинусоїдальності кривої напруги сильно залежить від характеру самого виробничого процесу і від використовуваного устаткування. Тобто, для однотипного устаткування (двигуни, трансформатори, тощо) збиток від впливу вищих гармонік може бути різним в залежності від технологічного процесу.

Електромагнітна складова збитку при несинусоїдальності напруги характеризується збільшенням втрат активної потужності, збільшенням споживання активної та реактивної потужностей, прискоренням процесу старіння ізоляції, обмеженням сфери застосування конденсаторних батарей для підвищення коефіцієнта потужності [3].

Оскільки як найбільший збиток від впливу вищих гармонік припадає на додаткове нагрівання і зниження пропускну здатності електрообладнання, то визначення електромагнітної складової економічного збитку повинно ґрунтуватися на кількісній оцінці трьох видів негативних наслідків впливу вищих гармонік на електрообладнання СЕП:

- збільшення втрат активної потужності;
- скорочення терміну служби електроустаткування через прискорене теплове старіння ізоляції;
- збільшення капітальних вкладень в систему електропостачання.

Результатом застосування існуючих методів визначення джерел спотворень є різні коефіцієнти або індекси, що характеризують внесок джерела гармонік в спотворення кривої напруги. Такий підхід не дає повної картини розподілу потужності вищих гармонік в електричній мережі і не дозволяє справедливо розподіляти компенсаційні виплати між елементами електричної мережі і абонентами.

Для усунення цього недоліку було запропоновано метод коефіцієнта розподілу по кожній окремій гармоніці для кожного елемента електричної мережі і абонента, що базується на визначенні знаку і величини потужності вищих гармонік [2].

У задачі розподілу компенсаційних виплат між елементами електричної мережі і споживачами, які спотворюють криву напруги, і елементами електричної мережі і споживачами, що споживають потужність вищих гармонік, визначення відповідальності саме за потужністю гармонік в рамках основного інтервалу вимірювання не є кінцевою метою. Фінансові розрахунки між суб'єктами розподілу і споживання електроенергії здійснюються не по потужності, а за кількість електроенергії [4].

У роботах [4, 5] для цієї мети використовується електроенергія, яка розподілена з порушенням вимог щодо якості електроенергії. Такий підхід передбачає коригування тарифу на електроенергію в разі невідповідності її параметрів якості встановленим нормам [1]. Однак, при даному варіанті розрахунків за електроенергію немає диференціації за номером гармоніки і немає можливості кількісної оцінки збитку, що наноситься вищими гармоніками електрообладнанню СЕП.

**Мета публікації.** Обґрунтовано новий метод нарахування плати за спожиту електроенергію, заснований на визначенні вторинної потужності вищих гармонік і тарифних коефіцієнтах, що характеризують збиток, що наноситься технологічним процесом і електрообладнанню енергосистеми і споживачів впливом вищих гармонік.

**Основні матеріали дослідження.** Нашою метою є кількісна оцінка участі кожного елемента електричної мережі і споживача в розподілі потужності вищих гармонік з метою створення інформаційної доказової бази для вирішення конфліктних ситуацій між постачальною організацією і споживачем. Така задача вирішується шляхом інтегрування активної потужності кожної гармоніки по великій кількості інтервалів усереднення, за звітний період окремо для потужностей з негативним і позитивним знаком. Тобто генерація і споживання окремо без врахування взаємної компенсації

$$W_{\text{спож } ik} = \int_0^T P_{\text{спож } ik}(t) dt, \quad (1)$$

$$W_{\text{ген } ik} = \int_0^T |P_{\text{дж } ik}(t)| dt, \quad (2)$$

де  $W_{\text{ген } ik}$  – енергія  $k$ -ї гармоніки, що згенерована  $i$ -м елементом електричної мережі або абонентом за час  $T$ ;

$W_{\text{спож } ik}$  – енергія  $k$ -ї гармоніки, що спожита  $i$ -м елементом електричної мережі або абонентом за час  $T$ ;

$P_{\text{дж } ik}(t)$  – потужність  $k$ -ї гармоніки, що генерується  $i$ -м елементом електричної мережі або абонентом в момент часу  $t$ ;

$P_{\text{спож } ik}(t)$  – потужність  $k$ -ї гармоніки, що спожита  $i$ -м елементом електричної мережі або абонентом в момент часу  $t$ ;

$T$  – контрольований інтервал часу.

За спожити активну енергію першої гармоніки абонент повинен платити енергопостачальній організації за встановленим тарифом. З вищими гармоніками ситуація прямо протилежна: за спожити енергію вищих гармонік енергопостачальна організація сплачує абонентові, а за згенеровану в мережу енергію вищих гармонік – абонент енергопостачальній організації.

Тоді величину плати за електроенергію для  $i$ -го елемента електричної мережі або абонента можна визначити формулою:

$$\Pi_i = c_1 W_{\text{спож } i1} + \sum_{k=2}^{k_{\text{max}}} (c_{\text{ген } k} W_{\text{ген } ik} - c_{\text{спож } k} W_{\text{спож } ik}) \quad (3)$$

де  $c_1$  – вартість 1 кВт·год електроенергії для підприємства;

$c_{\text{ген } k}$  – тарифний коефіцієнт, що відповідає штрафу, який платить абонент енергопостачальній компанії, за збитки іншим елементам електричної мережі, що наносяться генерацією в мережу 1 кВт·год електроенергії на частоті  $k$ -ї гармоніки;

$c_{\text{спож } k}$  – тарифний коефіцієнт, що відповідає компенсації, яку платить енергопостачальна компанія абоненту за збитки завдані йому споживанням 1 кВт·год електроенергії на частоті  $k$ -ї гармоніки;

$W_{\text{спож } ik}$  – електроенергія  $k$ -ї гармоніки, що спожита  $i$ -м абонентом;

$W_{\text{спож } i1}$  – електроенергія першої гармоніки, що спожита  $i$ -м абонентом;

$W_{\text{ген } ik}$  – електроенергія  $k$ -ї гармоніки, що згенерована  $i$ -м споживачем;

$k_{\text{max}}$  – максимальний порядок контрольованих гармонік;

$k$  – порядок гармоніки.

Визначення величини тарифних коефіцієнтів  $c_{\text{спож } k}$  та  $c_{\text{ген } k}$  за генерацію/споживання енергії вищих гармонік залежить від негативного впливу на обладнання електричної мережі і абонента.

**Висновки.** З наведеного матеріалу випливає:

- при наявності несинусоїдальних режимів роботи електричної мережі необхідна диференціація збитку в залежності від гармонічних складових;

- для запобігання конфліктних ситуацій, що виникають між постачальником і споживачем при несинусоїдальних режимах, доцільно використовувати значення енергії спотворення по кожній гармоніці окремо для обґрунтованого коригування тарифів на електроенергію;

- для можливості обліку енергії вищих гармонік необхідне відповідне розширення фундаментальних можливостей існуючих автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії.

#### Список використаних джерел

1. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення (EN 50160 2010, IDT). Введ. 2014-10-01. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 27 с.

2. Філянн Д. В. Визначення ступеню участі суб'єктів електричної мережі в розподілі потужності вищих гармонік. *Вісник ХНТУСГ. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". Технічні науки.* 2018. Вип.195. С. 61–62.

3. Пивняк Г. Г., Жежеленко И. В., Папаика Ю. А. Расчеты показателей электромагнитной совместимости: учеб. пособие. М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. Д.: НГУ, 2014. 113 с.

4. Гриб О. Г., Сендерович Г. А., Щербакова П. Г. Особенности использования параметров режима сети для определения участия субъектов в искажении синусоидальности кривой напряжений. *Восточно-европейский журнал передовых технологий.* 2007. № 5/4 (29). С. 73–76.

5. Гриб О. Г., Сендерович Г. А., Щербакова П. Г. Актуальные задачи определения долевого участия в ответственности за нарушение качества электрической энергии. *Наукові праці ДонНТУ. Електротехніка і енергетика.* 2013. №1(14). С.77–82.

#### Анотація

#### МЕТОД НАЧИСЛЕНИЯ ПЛАТЫ ЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ Пониженного КАЧЕСТВА

Філянн Д. В.

*Предложен новый подход к начислению платы за потребленную электроэнергию при наличии в электрической сети источников высших гармоник.*

#### Abstract

#### PAYMENT METHOD AT LOW QUALITY OF ELECTRICITY

D. Filyanin

*A new approach for paying of energy consumption in case of harmonic distortion sources in the distribution system is proposed.*