

ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЮ УЧАСТІ СУБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ В РОЗПОДІЛІ ПОТУЖНОСТІ ВИЩИХ ГАРМОНІК

Філянін Д. В.

ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського (м. Київ)

Запропоновано новий метод визначення джерел вищих гармонік і метод розподілу компенсації за гармонічні спотворення в електричній мережі.

Постановка проблеми. Наявність нелінійних навантажень і зростання числа систем розподіленої генерації електроенергії призводять до спотворення форми кривих напруги і струму в електричних мережах, тобто до появи гармонік струму і напруги.

Вплив гармонік загрожує порушенням роботи енергетичного обладнання та шкідливим впливом на електроприймачі споживача:

- зменшення коефіцієнту потужності електроприймачів;
- додаткове нагрівання елементів мережі;
- зниження пропускної здатності ліній електропередач (ЛЕП) та трансформаторів;
- вимушене завищення параметрів ЛЕП та трансформаторів;
- тощо.

Енергопостачальні організації зазвичай знімають з себе відповідальність за причини виникнення гармонік, вводячи стандарти або рекомендації щодо обмеження рівнів гармонічних складових в точках загального приєднання споживачів. Ці документи не враховують склад обладнання електричної мережі і, відповідно, збитки, яких можуть завдати гармоніки мережевому устаткуванню та устаткуванню споживачів.

Збитки, які несуть суб'єкти процесу розподілу електричної енергії від погіршення її якості понад допустимі норми [1, 2], повинні оплачуватися винуватцями порушення якості. Для цього необхідно визначити джерела гармонік, оцінити ступінь участі кожного суб'єкта розподільчої мережі в порушенні синусоїдальності і розподілі потужності вищих гармонік, щоб за допомогою системи штрафів і санкцій стимулювати споживача, що спотворює параметри якості електроенергії, встановлювати у себе компенсуюче обладнання, а також справедливо розподіляти кошти, отримані від джерел спотворення.

Аналіз досліджень і публікацій. На сьогоднішній день немає загальноприйнятого методу для виявлення винуватців порушення синусоїдальності напруги [3].

Можна виділити дві групи підходів до визначення джерел спотворень кривої напруги в точці загального підключення (ТЗП):

1. Група, що базується на вимірах в ТЗП з відомим або невідомим опором мережі і споживача;
2. Група, що базується на вимірах, взятих в різних точках системи електропостачання, з використанням методик оцінки стану системи.

Друга група підходів щодо визначення джерела гармонік використовується для системоутворюючих мереж і передбачає складні алгоритми оптимізації

розміщення датчиків по всій системі енергопостачання для оцінки джерел спотворень.

У розподільних мережах, на відміну від системоутворюючих мереж, напрямок потоку потужності першої гармоніки заздалегідь відомо і питання про оптимізацію розміщення точок контролю не варто, так як треба контролювати кожного суб'єкта електричної мережі (за аналогією з обліком споживання електроенергії).

Методи визначення джерела спотворення, що відносяться до першої групи:

1. Методи, що базуються на визначенні знака і значення потужності гармоніки, що генерується джерелом вищих гармонік.

2. Метод деформуючого і не деформуючого навантаження (deforming and non-deforming load), згідно з яким вимірний струм є сума не деформуючого і деформуючого струмів.

3. Метод спотворюючого і не спотворюючого струму (distorted and non-distorted current), згідно з яким навантаження подається у вигляді еквівалентного лінійного опору першої гармоніки.

У даних методах всі вимірювання проводяться в точці загального підключення. Другий і третій з зазначених методів визначення винуватця спотворення кривої напруги в ТЗП виходять з припущення лінійності опору навантаження на всіх частотах, що не є коректним. Наприклад, наявність фільтрів вищих гармонік зводить нанівець це припущення. Більш універсальним уявляється метод визначення знаку і значення потужності гармоніки, що генерується джерелом гармонік, оскільки там використовуються тільки вимірні величини без будь-яких припущень. Його недоліком є відсутність обліку взаємних потоків спотворюючої потужності, що виникають при наявності кількох джерел спотворення в СЕП. Для усунення цього недоліку вимірювання слід проводити не в ТЗП, а на клеммах споживача [3].

Як результат застосування 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 суб'єктами розподільчої мережі.

Мета публікації. Ввести визначення коефіцієнта розподілу по кожній окремій гармоніці для кожного суб'єкта електричної мережі.

Основні матеріали дослідження. Згідно з визначенням балансу потужностей: сума потужностей,

споживаних приймачами, дорівнює сумі потужностей, що віддаються джерелами. Тобто для ТЗП справедливо вираз

$$\sum_{i=1}^n P_{ik}^{\text{ТЗП}} = 0, \quad (1)$$

де k – порядок гармоніки;

n – загальна кількість підключень в ТОП, включаючи джерело живлення;

$P_{ik}^{\text{ТОП}}$ – активна потужність k -ої гармоніки i -го підключення.

Активна потужність k -ої гармоніки, споживана i -ю кабельною лінією, визначається, як різниця між потужністю, яка вимірюється на початку лінії (ТЗП) і в кінці лінії (клєми споживача)

$$P_{ik}^{\text{КЛ}} = P_{ik}^{\text{ТЗП}} - P_{ik}, \quad (2)$$

де P_{ik} – активна потужність k -ої гармоніки i -го споживача.

Сумарна потужність джерел k -ої гармоніки

$$P_{\Sigma k} = \sum P_{ik}^{\text{ДЖ}}, \quad (3)$$

де $P_{ik}^{\text{ДЖ}}$ – потужність i -го джерела k -ої гармоніки.

$P_{ik}^{\text{ДЖ}}$ визначається з умови

$$P_{ik}^{\text{ДЖ}} = \begin{cases} 0 & \text{якщо } P_{ik} \geq 0 \\ P_{ik} & \text{якщо } P_{ik} < 0 \end{cases}, \quad (4)$$

де P_{ik} – активна потужність k -ої гармоніки i -го споживача.

Коефіцієнт розподілення i -го споживача по k -й гармоніці визначається, як відношення активної потужності гармоніки кожного суб'єкта СЕП до сумарної активної потужності відповідної гармоніки, що генерується всіма джерелами спотворення, з урахуванням знаку

$$K_{ik} = \frac{P_{ik}}{P_{\Sigma k}}. \quad (5)$$

Для кабельних ліній

$$K_{ik}^{\text{КЛ}} = \frac{P_{ik}^{\text{КЛ}}}{P_{\Sigma k}}. \quad (6)$$

Виходячи з балансу потужностей, можна стверджувати, що

$$\sum_{i=1}^n (K_{ik} + K_{ik}^{\text{КЛ}}) = 0. \quad (7)$$

Висновки. З наведеного матеріалу випливає:

– для диференціації збитку необхідно визначати ступінь участі кожного суб'єкта електричної мережі в спотворенні кривої напруги по кожній гармоніці окремо;

– кабельна лінія є споживачем активної потужності гармонічних складових і для визначення ступеня її участі в розподілі потужності гармонік необхідно проводити вимірювання на її обох кінцях;

– в якості критерію оцінки участі кожного суб'єкта електричної мережі в розподілі потужності вищих гармонік слід використовувати коефіцієнт розподілення по k -й гармоніці.

Список використаних джерел

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

2. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения – Введ. 01.01.2013. – М: Стандартинформ, 2012. – 16 с.

3. IEEE Std 1459-2010. Definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced, or unbalanced conditions. – March 2010. IEEE Standard 1459. – 40 p.

4. Волошко, А. В. Определение источников гармонических искажения в точке общего подключения на примере упрощенной модели распределительной сети / А. В. Волошко, Д. В. Филянин // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2015 – №1. – С. 35–43.

Анотація

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ УЧАСТИЯ СУБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ В РАСПРЕДЕЛЕНИИ МОЩНОСТИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

Филянин Д. В.

Предложен новый метод определения источников гармонических искажений и метод распределения компенсации за искажение кривой напряжения в электрической сети.

Abstract

ASSESSMENT OF THE DEGREE OF PARTICIPATION OF ELECTRIC NETWORK SUBJECTS IN THE DISTRIBUTION OF HIGH HARMONIC POWER

D. Filyanin

A new method of detection of the harmonic sources and the method of distribution of compensation for the harmonic distortion in the electric network.