

О. Г. Гриб¹
Г. А. Сендерович¹
П. Г. Щербакова¹

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТКОВОГО ВКЛАДУ СПОЖИВАЧА У ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ ЗА ПОРУШЕННЯ СИНУСОЇДНОСТІ КРИВОЇ НАПРУГИ

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Представлено метод і методику визначення часткової участі постачальників і споживачів електроенергії у відповідальності за викривлення синусоїдності кривої напруги. Використано ознаку розташування джерел струмів вищих гармонік, яка оснований на визначенні напрямку активних потужностей пакета гармонічних складових, отримуваних при розкладанні в ряд Фур'є. Оцінка часткової участі здійснюється для кількості електроенергії, отриманої споживачем з порушенням вимог до синусоїдності кривої напруги. Розраховується часткова участь споживача у відповідальності за порушення якості цієї електроенергії.

Ключові слова: якість електричної енергії, синусоїдність, часткова участь, відповідальність.

Вступ

Забезпечення якості електричної енергії (ЯЕ) є проблема не нова для України, але важлива і невирішена і тому актуальна. Визначення часткової участі у відповідальності за відхилення показників якості електричної енергії (ПЯЕ) від допустимих значень є частиною цієї проблеми, рішення якої спрямовано на стимулювання зацікавленості постачальників і споживачів у підвищенні ЯЕ.

Матеріали дослідження

Автори знайшли детерміноване рішення для визначення часткової участі суб'єктів у випадку порушення симетрії напруг [1]. Для розв'язання задачі використано зв'язок між моделями мережі у фазних координатах і в координатах симетричних складових. Перша модель дозволяє відслідковувати поточний режим мережі, друга — забезпечує оцінку симетрії. Подібний зв'язок між моделями мережі у фазних координатах і в координатах гармонічних складових у разі викривлення синусоїдності кривої напруги знайти не вдалося. Для розв'язання цієї задачі застосовані рішення, що розвивають і використовують в іншій якості відомі підходи [2].

Метою статті є розроблення методу та методики визначення часткової участі постачальників і споживачів електроенергії у відповідальності за викривлення синусоїдності кривої напруги, розроблених авторами, та їх порівняльний аналіз з відомими рішеннями.

Відомий метод для визначення часткової участі суб'єктів у порушенні синусоїдності кривої напруги, який використовує напрямок і величину вторинної потужності [2], має недоліки з погляду визначення відповідальності.

По-перше, цей метод не враховує взаємну складову вторинної потужності, яка з'являється за наявності двох і більше джерел її генерації. У схемі заміщення (рис.), призначеній для визначення потужності n -ї гармонічної складової у разі порушення синусоїдності кривої напруги на межі балансової належності (МБН) показані джерела струму в системі $J_{(n)c}$ і в навантаженні $J_{(n)н}$, а також опори контурів системи $z_{(n)c}$ і навантаження $z_{(n)н}$ [3].

Отримано рівняння активної потужності n -ї гармонічної складової на МБН, яке можна записати у вигляді суми трьох складових:

$$P_{(n)} = J_{(n)c}^2 \cdot z_{(n) \text{Э}1} - J_{(n)н}^2 \cdot z_{(n) \text{Э}2} + J_{(n)c} \cdot J_{(n)н} \cdot (z_{(n) \text{Э}3} \cdot \cos \delta_{(n)} + z_{(n) \text{Э}4} \cdot \sin \delta_{(n)}), \quad (1)$$

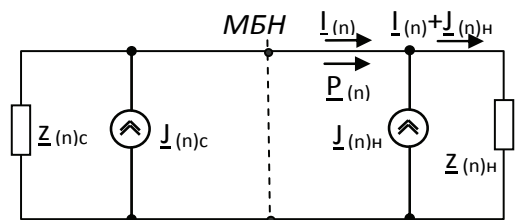


Схема заміщення n -ї гармонічної складової

де $J_{(n)c}$ і $J_{(n)n}$ — струми n -ї гармоніки, які генерують система і навантаження; $\delta_{(n)}$ — кут між векторами струмів n -ї гармоніки $J_{(n)c}$ і $J_{(n)n}$; $z_{(n)\text{Э}1}$; $z_{(n)\text{Э}2}$; $z_{(n)\text{Э}3}$; $z_{(n)\text{Э}4}$ — еквівалентні опори, обумовлені схемою мережі й устаткуванням, використовуваним у навантаженні.

Якщо джерело струму n -ї гармонічної складової знаходиться в системі, то рівняння (1) містить тільки складову $P_{(n)1} = J_{(n)c}^2 \cdot z_{(n)\text{Э}1}$, у навантаженні — тільки складову $P_{(n)1} = J_{(n)c}^2 \cdot z_{(n)\text{Э}1}$. У разі знаходження джерел струму n -ї гармонічної складової в системі й у навантаженні рівняння активної потужності (1) містять усі три складові. Причому, величина і напрямок взаємної складової $P_{(n)3} = J_{(n)c} J_{(n)n} (z_{(n)\text{Э}3} \cos \delta_{(n)} + z_{(n)\text{Э}4} \sin \delta_{(n)})$ є величина невизначена у вимірюваннях, проведених у різні інтервали усереднення, тому що є функцією від кута $\delta_{(n)}$, яка є випадковою величиною. Наявність взаємної складової не дозволяє визначити залежність величини або напрямку активної потужності від співвідношення величин струмів джерел генерації вторинної потужності.

По-друге, такий підхід не дає можливість враховувати зміни ЯЕ, які обов'язково мають місце протягом часу моніторингу.

Авторами виявлена ознака розташування джерел струмів вищих гармонік по одну сторону МБН у разі порушення синусоїдності кривої напруги [3]. Визначення такого режиму основане на тому, що розкладання в ряд Фур'є несинусоїдальної кривої приводить до появи пакета кривих вищих гармонік. Якщо джерело струмів вищих гармонік одне, то потужності гармонічних складових усього пакета кривих мають однаковий напрямок:

$$\text{sign } P(n) = \text{const.} \quad (2)$$

За виконання умови (2) рівняння (1) має одну складову, $P_{(n)1}$ або $P_{(n)2}$, (є детерміноване рішення в рамках інтервалу усереднення), у разі невиконання умови (2) — всі три складові, що означає розташування джерел струмів вищих гармонік по обидві сторони МБН (немає детермінованого рішення в рамках інтервалу усереднення).

Така задача може вирішуватися як інтегральна за великою кількістю інтервалів усереднення за час, тривалість якого визначається видом моніторингу. Інтегральний підхід до оцінки потужності є перехід до оцінки енергії.

Якщо взяти простий інтеграл за час моніторингу T по рівнянню (1), то за випадкових значень кута $\delta_{(n)}$ в окремих інтервалах усереднення, варто очікувати, що активна енергія, яка відповідає взаємній складовій потужності n -ї гармоніки, буде прагнути до нуля, а значення активної енергії n -ї гармонічної складової — до збереження тільки постійних складових

$$W_{(n)} = \int_0^T P_{(n)} dt \rightarrow J_{(n)c}^2 z_{(n)\text{Э}1} T - J_{(n)n}^2 z_{(n)\text{Э}2} T. \quad (3)$$

Чим більший час моніторингу T , тим менший вплив буде мати взаємна складова потужності n -ї гармоніки на загальну величину вторинної енергії і тим у більшою мірою знак $W(n)$ буде характеризувати превалювання одного з джерел струму n -ї гармоніки. Але для будь-якого часу моніторингу за порушення умови (2) строга детермінованість розрахунку часткової участі порушується, рішення здобуває статистичний характер.

Інтегральний підхід дозволяє поєднати з розв'язанням цієї задачі виправлення другого недоліку відомого методу, а саме, враховувати зміни ПЯЕ протягом часу моніторингу ЯЕ. Фінансові розрахунки між суб'єктами здійснюються не за потужністю, а за кількістю електроенергії. Задачею є розрахунок тієї кількості електроенергії, що отримана з порушенням вимог до ПЯЕ, і визначення відповідальності суб'єктів за це порушення.

Авторами розроблено методику розрахунку часткової участі суб'єктів у відповідальності за порушення синусоїдності, що визначає відповідальність тільки за ту електроенергію, яка отримана з порушенням ЯЕ [3]. Для виявлення відповідальності споживача за порушення синусоїдності кривої напруги контрольно-вимірювальний комплекс встановлюється на його фідері. Прилад здійснює контроль ЯЕ і зберігає в пам'яті інформацію про параметри режиму по кожному інтервалу усереднення, у якому було виявлене будь-яке порушення вимог до ПЯЕ протягом проведення моніторингу.

Для кожної n -ї гармоніки визначається напрямок активної потужності. У разі виконання умови (2) джерело порушення синусоїдності знаходиться у системі, (коефіцієнт відповідальності спожив-

вача $K_{\text{відп}} = -1$), або у споживача ($K_{\text{відп}} = 1$). Маємо детерміноване рішення в рамках інтервалу усереднення. У випадку невиконання умови (2) для інтервалу усереднення розраховується статистичне значення коефіцієнта відповідальності

$$K_{\text{відп}} = \frac{\sum_{n=2}^{n=40} K_{\text{відп}(n)}}{k_n}, \quad (4)$$

де $K_{\text{відп}(n)}$ — коефіцієнт відповідальності у n -ї гармоніки; k_n — кількість гармонік, у яких порушені вимоги до $K_{U(n)}$.

Енергія, що потребує визначення відповідальності оскільки отримана споживачем з порушеннями синусоїдності визначається у кожному j -му інтервалі усереднення та підсумовується за усіма інтервалами усереднення:

$$W_{\text{відп}} = \sum_{j=1}^{j=\frac{T}{\Delta t}} \left[\sum_{i=1}^{i=f} W(j, i) \cdot K_{\text{відп}}(j, i) \right], \quad (5)$$

де T — час, протягом якого зафіксовано порушення синусоїдності; Δt — тривалість інтервалу усереднення; f — кількість фаз електричної мережі.

Результат розрахунку за формулою (5) може бути позитивним і негативним в залежності від знака коефіцієнта відповідальності.

Висновок

Запропонований підхід дозволяє визначити обсяг електроенергії $W_{\text{відп}}$, відповідальність за порушення синусоїдності якої несе споживач. В залежності від знаку $W_{\text{відп}}$ споживач має право на компенсацію, або заслуговує штрафних санкцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сендерович Г. А. Анализ влияния потребителей на несимметрию по обратной последовательности в точке общего присоединения / Г. А. Сендерович // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2005. — № 1/2 (13). — С. 89—94.
2. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии РД 153-34.0-15.501-01 / Разработано научно-методическим центром 000 «Научный центр ЛИНВИТ». — Москва : Энергосервис, 2001. — 23 с.
3. Контроль потребления электроэнергии с учётом её качества / [О. Г. Гриб, В. И. Васильченко, Г. А. Сендерович и др.]; под. ред. О. Г. Гриба. — Харьков : ХНУРЕ, 2010. — 444 с.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 30.01.2014

Гриб Олег Герасимович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри, **Сендерович Геннадій Аркадійович** — д-р техн. наук, професор, **Щербакова Поліна Геннадіївна** — канд. техн. наук, доцент, e-mail: pgiav@i.ua.

Кафедра автоматизації енергосистем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

O. G. Gryb¹
G. A. Senderovych¹
P. G. Shcherbakova¹

FEATURES OF DETERMINING THE SHARE OF CONTRIBUTION OF THE CONSUMER TO THE RESPONSIBILITY FOR VIOLATIONS OF THE SINUSOIDAL OF VOLTAGE CURVE

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

The method and methodology of determination of equity participation of suppliers and consumers of electric power in responsibility for distortion of total harmonic distortion are presented. The sign of location of sources of currents of ultrahar-

monics, based on the direction finding of active-powers of package of the harmonic constituents got at decomposition in the row of Fourier, is used. The estimation of equity participation is produced for the amount of electric power got by a consumer with violation of requirements to. total harmonic distortion Equity participation of consumer settles accounts in responsibility for violation of quality of this electric power.

Key words: quality of electric power, harmonicity, individual share, responsibility.

Gryb Oleh G. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair, **Senderovych Gennadii A.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, **Shcherbakova Polina G.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: pgiav@i.ua.
The Chair of Automation of Energy System

О. Г. Гриб¹
Г. А. Сендерович¹
П. Г. Щербакова¹

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛЕВОГО ВКЛАДА ПОТРЕБИТЕЛЯ В ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАРУШЕНИЕ СИНУСОИДАЛЬНОСТИ КРИВОЙ НАПРЯЖЕНИЯ

¹Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Представлены метод и методика определения долевого участия поставщиков и потребителей электроэнергии в ответственности за искажение синусоидальности кривой напряжения. Использован признак расположения источников токов высших гармоник, основанный на определении направления активных мощностей пакета гармонических составляющих, получаемых при разложении в ряд Фурье. Оценка долевого участия производится для количества электроэнергии, полученной потребителем с нарушением требований к синусоидальности кривой напряжения. Рассчитывается долевое участие потребителя в ответственности за нарушение качества этой электроэнергии.

Ключевые слова: качество электрической энергии, синусоидальность, долевое участие, ответственность.

Гриб Олег Герасимович — д-р тех. наук, профессор, заведующий кафедрой, **Сендерович Геннадий Аркадьевич** — д-р тех. наук, профессор, **Щербакова Полина Геннадьевна** — канд. тех. наук, доцент, e-mail: pgiav@i.ua.

Кафедра автоматизации энергосистем