УДК 621.311.13

В. Ванько, Н. Клепач
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВИМІРЮВАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ В УСТАНОВЛЕНИХ РЕЖИМАХ МЕРЕЖІ

© Ванько В., Клепач Н., 2016

Розроблено новий алгоритм обчислення середньоквадратичного значення напруги з врахуванням внесків низько- і високочастотних інтергармонік, завдяки якому точніше визначаються показники якості електроенергії у встановлених режимах функціонування мережі, а також досліджено впливи основних параметрів на достовірність вимірювальної інформації щодо вибраних груп показників якості.

Ключові слова: високочастотні інтергармоніки, середньоквадратичне значення напруги, показники якості електроенергії.

A new algorithm for calculation of the rms voltage including low and high frequency interharmonics, whereby the electricity quality is precisely defined in established modes of functioning network, the influence of the main parameters of the reliability of measurement data for selected groups of quality was also developed.

Key words: **high interharmonics, voltage rms, electricity quality.**

Вступ

Головним чинником стосовно забезпечення надійної та ефективної роботи фактично усіх видів електронного і електротехнічного устаткування вважається забезпечення та гарантування нормативних вимог якості електроенергії (ЕЕ) [1–3]. При цьому йдеться про контроль часових, частотних і амплітудних (енергетичних) параметрів кривої напруги $f_U(t)$ на усіх ділянках енергосистеми – від мереж енергопостачальних організацій до підключень електроспоживачів.

Сьогодні оцінювання якості ЕЕ ґрунтується на виявленні і фіксації виходу вимірюваних значень одного чи кількох показників якості (ПЯ) з усієї наведеної сукупності показників за межі встановлених норм якості – граничних значень ПЯ ЕЕ – протягом рекомендованого інтервалу часу аналізу, не меншого за 24 год. Оскільки здебільшого доводиться контролювати якість ЕЕ у режимах функціонування мереж загального призначення, близьких до нормального, то доцільно вимірювати та аналізувати такі групи ПЯ: повільних коливань і збурень напруги та частоти (ПКНЧ) та несинусоїдальності напруги (НСН) [2].

Підхід до оцінки якості електроенергії з огляду на специфіку проведення вимірювального експерименту

Для визначення рівня якості ЕЕ на досліджуваних ділянках енергосистеми найперше доцільно встановити характер та особливості електричних сигналів напруги $f_U(t)$, які підключатимуться до засобів вимірювання ПЯ ЕЕ.

За даними [4, 5], під час контролю напруги мережі в усталеному режимі без наявності швидких динамічних погіршень якості ЕЕ можна стверджувати, що досліджувані сигнали підпорядковані певним спільним закономірностям. При цьому, як правило, межі зміни середньоквадратичного значення (СКЗ) напруги не будуть перевищувати встановлених у [1, 2] границь, тобто ±10 % від номінального значення $U_{ном}$. Поряд з цим характер зміни більшості параметрів напруги (миттєвих значень і спектрального складу) як функції часу і частоти є випадковим. Також

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

разом із традиційними, цілочисленно пропорційними гармоніками наявні інтергармонічні складові. Причиною появи останніх є, по-перше, увімкнення споживачами певних, специфічних видів навантаження (інверторів, перетворювачів електросигналів, компенсаторів реактивної потужності тощо), а по-друге, – коливання рівнів споживання ЕЕ, особливо потужним устаткуванням, які потрібно сприймати як низькочастотну інтергармонічну складову [6].

Отже, якщо криву напруги мережі подати у вигляді

$$f_U(t)=\sum_{i=1}^{n}U_{mi}\cdot\sin(iwt+j_i)+U_{m-HЧ}\cdot\sin(n_{HЧ}wt+j_{HЧ})+U_{m-BЧ}\cdot\sin(n_{BЧ}wt+j_{BЧ}), \qquad (1)$$

причому U_{mi} – амплітуда i-ї гармоніки; n – максимальна традиційна гармоніка (згідно з [1, 3] дорівнює 40); $\nu_{HЧ}$ і $\nu_{BЧ}$ – коефіцієнти, що характеризують співвідношення колових частот низько- і високочастотних інтергармонік по відношенню до першої (промислової) частоти ω; $U_{m\text{-}HЧ}$, $U_{m\text{-}BЧ}$, φ_i, $\varphi_{HЧ}$ і $\varphi_{BЧ}$ – амплітуди і початкові фази відповідних гармонічних складових, то СКЗ такого сигналу являє собою достатньо складний вираз:

$$U_{iд}=\sqrt{\begin{aligned}&U_{m_HЧ}^2/2+\sum_{i=1}^{n}U_{mi}^2/2+U_{m_BЧ}^2/2+U_{m_HЧ}\cdot\\&\cdot\sum_{i=1}^{n}U_{mi}\cdot\left\{\frac{\sin[2p(n_{HЧ}-i)+j_{HЧ}-j_i]}{p(n_{HЧ}-i)}-\frac{\sin[2p(n_{HЧ}+i)+j_{HЧ}+j_i]}{p(n_{HЧ}+i)}\right\}+\\&+U_{m_HЧ}\cdot U_{m_BЧ}\cdot\left\{\begin{aligned}&\frac{\sin[2p(n_{HЧ}-n_{BЧ})+j_{HЧ}-j_{BЧ}]}{p(n_{HЧ}-n_{BЧ})}-\\&-\frac{\sin[2p(n_{HЧ}+n_{BЧ})+j_{HЧ}+j_{BЧ}]}{p(n_{HЧ}-n_{BЧ})}\end{aligned}\right\}+U_{m_BЧ}\cdot\\&\cdot\sum_{i=1}^{n}U_{mi}\cdot\left\{\frac{\sin[2p(i-n_{BЧ})+i-j_{BЧ}]}{p(i-n_{BЧ})}-\frac{\sin[2p(i+n_{BЧ})+i+j_{BЧ}]}{p(i+n_{BЧ})}\right\}\end{aligned}}. \qquad (2)$$

Варто зазначити, що цей вираз стосується ідеального СКЗ для сигналів такого виду, що описують процеси обміну ЕЕ між генератором (джерелом постачання) та споживачем. Вираз (2) у подальшому варто застосовувати для аналізу точності вимірювання виокремлених вище ПЯ ЕЕ, що важливо за цих умов постановки вимірювальних експериментів.

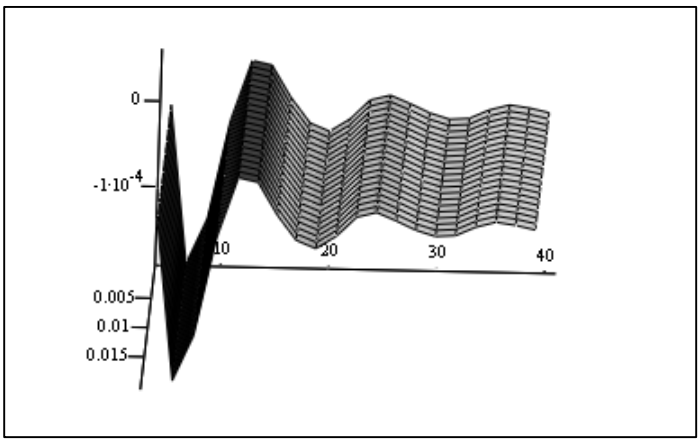
Дослідження особливостей моніторингу якості електроенергії на основі ймовірних змін умов його проведення

Відповідно до практики досліджень мереж загального призначення провідними фахівцями і науковцями, можна стверджувати, що вираз (1) відображає реальну картину ймовірних ситуацій, які там відбуваються. Тобто коливання СКЗ напруги U_{CK}, які сприйматимемо як низькочастотні зміни напруги та високочастотні інтергармонічні складові напруги, можна у першому наближенні інтерпретувати як сигнали з моночастотами, відповідно, $n_{HЧ}w$ та $n_{BЧ}w$. Отже, являють інтерес залежності функції (2) від змін основних параметрів досліджуваних сигналів (1). При цьому виникатиме похибка визначення СКЗ досліджуваного сигналу δ, яка спричинена зміною відповідного параметра $f_U(t)$ порівняно з ідеальним СКЗ, що описується виразом (2). Тобто під впливом певного параметра χ протягом інтервалу t знаходження СКЗ напруги матимемо

$$d(c,t)=\frac{\sqrt{\frac{w}{2p}\int_0^{\frac{2p}{w}}[f_U(t)]^2\,dt}}{U_{iд}}-1. \qquad (3)$$

Якщо дослідити відносне відхилення δ ідеального СКЗ досліджуваного сигналу згідно з (2) під час змін номера традиційної гармоніки i від 5 до 40 ($c=i$) та за t до 20 *мс*, отримаємо тривимірну залежність, що не перевищує значення $-2\cdot10^{-4}$ (рис. 1). При цьому U_{m1} = $220\cdot\sqrt{2}$ *В* та U_{mi} = 10 *В* (i = 15), тобто відтворюється реальна ситуація у мережі. Причому у межах i = 10…40 δ вона істотно зменшується.

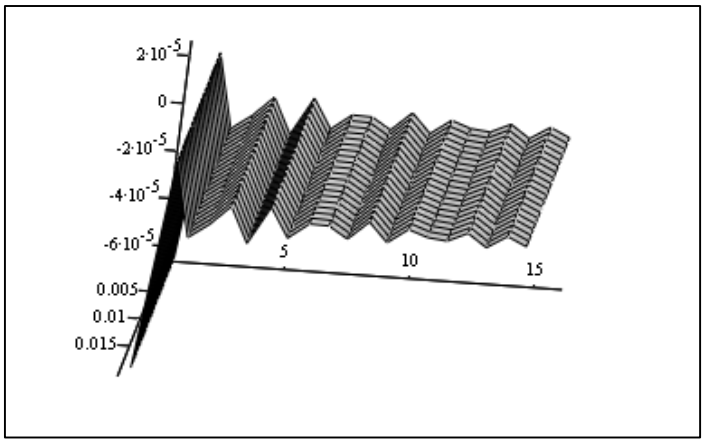
Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua



δ

Рис. 1. Відносне відхилення δ ідеального СКЗ досліджуваного сигналу $f_U(t)$ *залежно від номера і традиційної гармоніки*

Коли є відхилення параметра $\chi = \nu_{НЧ}$, що характеризує частотну зміну низькочастотної інтергармоніки, тобто фактично дози флікера з групи ПКНЧ, то для виразу (3) матимемо відносне відхилення (рис. 2). Основні параметри $f_U(t)$ зберігаються у розмірах, що стосувалися графіка (рис. 1), $U_{m_НЧ} = 10\ B$, а $\nu_{НЧ}$ змінюється у діапазоні від $\pi/5$ до 5π.



δ

Рис. 2. Відносне відхилення δ ідеального СКЗ досліджуваного сигналу $f_U(t)$ *залежно від частотної зміни низькочастотної інтергармоніки* $\nu_{НЧ}$

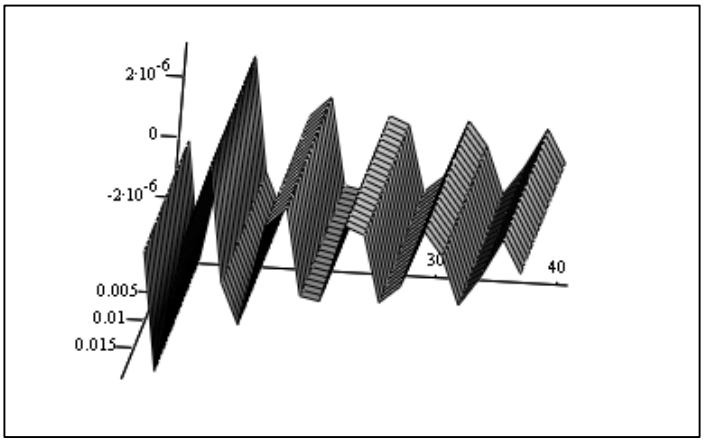
Як бачимо, істотне збільшення δ з'являється лише за найменших значень цього параметра.

Можна вважати, що високочастотні інтергармоніки, як правило, виникають на частотах, що знаходяться дещо далі від промислової ω. Тому для розгляду змін параметра $\chi = \nu_{ВЧ}$ вибрано інтервал 9…40 за $U_{m_ВЧ} = 10\ B$. На рис. 3 показано відносні зміни δ ідеального СКЗ досліджуваного сигналу $f_U(t)$ залежно від відхилень $\nu_{ВЧ}$.

При цьому найбільші зміни δ спостерігаються на початку заданого для $\nu_{ВЧ}$ інтервалу.

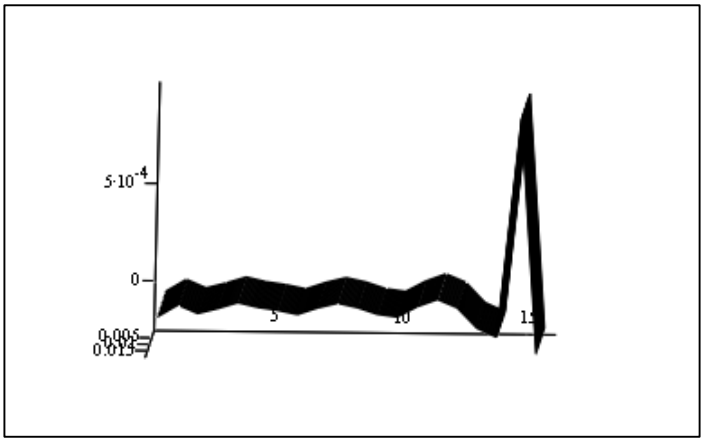
Розгляд виразу (2) показує наявність багатьох складових, що дає можливість застосовувати його насамперед у засобах вимірювання, що реалізуються на основі персонального комп'ютера. З аналізу цього виразу бачимо, що найбільший внесок у δ матимуть складові (2), пов'язані із U_{m1} . Тому ми здійснили спробу оптимального спрощення виразу (2) за рахунок нехтування складових, пов'язаних із добутком $U_{m_НЧ}$ та $U_{m_ВЧ}$, у $U_{ід}$. Тоді, залишаючи внесок цих параметрів у чисельнику виразу (3), отримаємо два графіки відхилення δ ідеального СКЗ досліджуваного сигналу $f_U(t)$. На рис. 4 показано зміни δ під час нехтування внеском $U_{m_НЧ}$ за існування $U_{m_ВЧ}$, а на рис. 5 – за умови усунення $U_{m_ВЧ}$ за наявної $U_{m_НЧ}$.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua



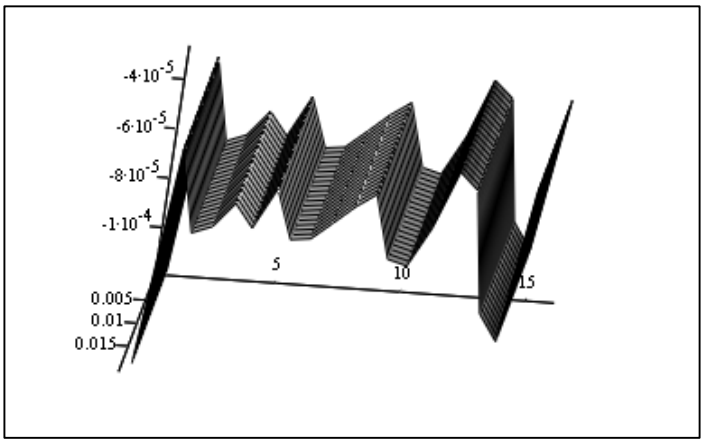
δ

Рис. 3. Відносне відхилення δ ідеального СКЗ досліджуваного сигналу $f_U(t)$ *залежно від частотної зміни високочастотної інтергармоніки* $\nu_{ВЧ}$



δ

Рис. 4. Відносне відхилення δ ідеального СКЗ досліджуваного сигналу $f_U(t)$ *за умови нехтування внеском* $U_{m_НЧ}$



δ

Рис. 5. Відносне відхилення δ ідеального СКЗ досліджуваного сигналу $f_U(t)$ *за умови нехтування внеском* $U_{m_ВЧ}$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

З вигляду двох останніх графіків бачимо, що подібне спрощення виразу (2) можливе лише під час вимірювання вказаних ПЯ ЕЕ з невисокою точністю. Коли йдеться про створення еталонних засобів вимірювання, то такі нехтування не можна вважати допустимими.

Висновки

Запропоновано вираз ідеального середньоквадратичного значення напруги у встановлених режимах мережі, завдяки якому можна достовірно описати ймовірні негативні ситуації з погіршення якості ЕЕ. Цей матеріал може використовуватись для оцінювання з високою точністю впливів інтергармонічних складових на нормовані показники якості ЕЕ.

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 01.01.2000. – К.: Держстандарт України, 1999. – 32 с. 2. Ванько В. М., Столярчук П. Г. Проблеми контролю якості електроенергії в електричних мережах // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2001. – № 58. – С. 47–56. 3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 01.07.2014. – М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с. 4. Столярчук П. Г., Гудим В. І., Ванько В. М. Застосування вейвлет-перетворення для аналізу електромагнітних процесів в системах електропостачання // Вісник Приазовського ДТУ "Енергетика". – Маріуполь, 2005. – Вип. 15, Ч. 2. – С. 92–95. 5. Ванько В. М. Вимірювання показників якості електроенергії на основі дискретного wavelet-перетворення // Вісник НУ "Львівська політехніка" "Автоматика, вимірювання та керування". – 2006. – № 551. – С. 13–19. 6. Ванько В. М. Метод оцінки збурень напруги в електричних мережах // Вісник НУ "Львівська політехніка" "Електроенергетичні та електромеханічні системи". – 2005. – № 544. – С. 19–25.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua