

А. В. Волошко, м. Київ

В. А.Готович, О. Б. Назаревич, м. Тернопіль

ОСНОВИ СТВОРЕННЯ БАЗИ РЕАЛІЗАЦІЙ СИГНАЛІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Abstract. Grounded methodology of modeling electrical voltage implementations with different samples of distortion waveform signal. We propose used during simulation two types of waveform distortion of the signal voltage – staff and non staff. We describe a set of possible savings of simulated voltage implementations, including running under database MySQL.

Вступ. Відомо [1], що для контролю та моніторингу характеристик якості електроенергії у промисловості та в комунальному секторі використовуються спеціалізовані засоби та системи вимірювань. Актуальність розв'язання задач контролю та моніторингу зумовлена значним ступенем залежності роботи електрообладнання від якості споживаної ним електроенергії [1]. Розробка нових засобів даного типу, а також модернізація існуючих пов'язана зі створенням відповідного алгоритмічно-програмного забезпечення опрацювання даних вимірювань. При цьому, розробники засобів вимірювання в якості робочого матеріалу далеко не завжди мають можливість використати необхідний об'єм статистичних даних, зібраних із реальних мереж електропостачання. Зібрати всі можливі, в тому числі і малоймовірні, зразки спотворення якості електроенергії практично нереально. Для цього доцільно скористатися змодельованими зразками статистики. Це зумовлює актуальність задачі створення шляхом моделювання бази реалізацій електричних сигналів (струму, напруги), які містять зразки спотворення якості електроенергії з різним числовим значенням показників якості електроенергії.

Моделювання бази реалізацій необхідно проводити відштовхуючись від описаних у відповідній нормативній базі [2 - 4] зразків спотворення якості, показників якості та методів їх визначення. Сучасна комп'ютерна техніка дозволяє не лише змодельовати зразки спотворення якості електроенергії, але й також розробити і підтвердити, в тому числі і на основі змодельованих зразків, ефективність застосування алгоритмічно-програмного забезпечення контролю та моніторингу якості електроенергії.

Постанова задачі. Обґрунтувати основи створення бази реалізацій електричної напруги з різними видами спотворень як статистичної бази реальних даних вимірювань спотворення сигналів електричної напруги для алгоритмічно-програмного забезпечення засобів вимірювання.

Основні результати. Відповідно до стандарту [2], показниками (характеристиками) якості електричної енергії на відповідних часових

© А. В. Волошко, В. А.Готович, О. Б. Назаревич

інтервалах є:

- частота напруги;
- значення напруги (середньоквадратичне значення амплітуди);
- інтенсивність флікер-шуму;
- провал напруги та перенапруга;
- переривання напруги;
- несиметричність напруги (для 3-фазних систем електропостачання);
- гармоніки та інтергармоніки напруги;
- напруга інформаційних сигналів, які можуть передаватися по електромережі;
- швидкі зміни напруги (коливання амплітуди тривалістю до 1 хв.);
- усталене відхилення напруги (повільні коливання амплітуди тривалістю понад 1 хв.).

Тобто, показники якості електроенергії визначають на основі характеристик (частоти, амплітуди, гармонічних/інтергармонічних складових) сигналу електричної напруги. При цьому, допускається вимірювання також сили струму. В основному це здійснюють з допоміжною метою, адже форма коливань електричного струму може допомогти виявити конкретний технічний пристрій, який є винуватцем спотворення якості електроенергії в електромережі.

Огляд літератури свідчить про численні дослідження по моделюванню електричних мереж цілком або ж моделюванню окремих їх частин, елементів, дослідженню перехідних процесів в електромережах тощо, наприклад [5 - 7]. Опубліковано значна кількість праць, присвячених розробці нових і ефективних ІВС моніторингу якості, методів та алгоритмів оцінювання якості електроенергії, наприклад [8, 9].

Для засобів моніторингу якості електроенергії важливим, в першу чергу, є сам факт виявлення виходу конкретного показника якості або їх комбінації понад встановлені межі, його фіксація і класифікація. Виявлення ж пристрою-винуватця спотворення якості, усунення причин такого спотворення, є задачами, які розв'язуються дещо пізніше, на наступному етапі.

Стандартами визначено гранично допустимі межі, за які не повинні виходити значення показників якості електроенергії протягом 100% часу проведення вимірювань при випробуваннях конкретної електромережі. Очевидно, що вихід показників якості за ці межі призводить не лише до погіршення функціонування електрообладнання, але й також до скорочення терміну його служби і навіть виходу з ладу. А це, в свою чергу, загрожує аваріями і нештатними ситуаціями на виробництві, матеріальними збитками тощо. Також досить частими є ситуації, коли форма синусоїди напруги відрізняється від ідеальної (що може бути помітно і візуально на екрані вимірювального пристрою), але при цьому значення показників якості не виходять за гранично допустимі межі.

Базуючись на вищенаведеному, моделювання реалізації електричної напруги пропонується проводити для двох типів форми кривої напруги:

1. штатний тип (показники якості знаходяться в гранично допустимих межах, наявне незначне або невелике відхилення форми кривої електричної напруги від ідеальної);

2. нештатний тип (принаймні один із показників якості виходить за гранично допустимі межі, що помітним чином відбивається на формі кривої електричної напруги).

Ідеальну форму синусоїди електричної напруги (частота 50 Гц, діюче значення напруги 230 В згідно із [3]) будемо відносити до штатного типу. Варто зауважити, що в реальних електромережах синусоїда електричної напруги рідко буває ідеальною. В основному – з невеликими відхиленнями.

По суті, моделюванню підлягають реалізації двох типів: реалізації штатного типу (обчислені на основі них показники якості повинні знаходитися в гранично допустимих межах) і реалізації нештатного типу (обчислені на основі них показники якості виходять за гранично допустимі межі). При цьому, нештатною слід вважати як ситуацію, коли гранично допустиму межу перевищує лише якийсь один показник якості, так і ситуацію, коли відповідні гранично допустимі межі перевищують одразу декілька показників якості.

Для моделювання реалізації електричної напруги в даній роботі пропонується використання можливостей програмного пакету Matlab, зокрема, середовища Simulink [10]. В реальних електромережах погіршення показників якості понад встановлені норми може мати місце протягом секунд, десятків секунд і навіть десятків хвилин.

При проведенні дослідження даної роботи були використані наявні в опублікованих працях зразки спотворення форми сигналу електричної напруги представлені, зокрема, у [4].

Загальну математичну модель сигналу електричної напруги представимо у вигляді:

$$U(t) = A(t) \sin(F(t) + \Theta(\omega, t)), t \in T, \omega \in \Omega, \quad (1)$$

де $A(t)$, $F(t)$ – відповідні функції часу зміни амплітуди та частоти сигналу напруги; $\Theta(\omega, t) \in [0, 2\pi)$ – початкова випадкова фаза.

В загальному випадку, амплітуда, частота і випадкова складова змінюються в часі. І лише для т. зв. “ідеального” випадку амплітуда і частота незмінні, випадкова складова відсутня: $A(t) = const, F(t) = const, \Theta(t) = 0$.

Пропонується наступний загальний підхід до моделювання реалізації сигналів напруги:

1. налаштовуємо загальні параметри середовища моделювання Simulink (тривалість моделювання, крок приросту часу тощо);

2. для генерації сигналів використовуємо блоки-генератори бібліотеки Simulink (Sine Wave, Chirp Signal, Ramp тощо). Моделювання проводимо з різними значеннями параметрів блоків-генераторів з метою отримати на основі змодельованих реалізацій як значення показників якості, які не перевищують встановлені граничні межі, так і значення показників якості, які перевищують встановлені граничні межі;

3. в процесі моделювання, з метою комбінування проміжних сигналів, використовуємо допоміжні блоки (Gain, Product, Sum);

4. для збереження отриманих реалізацій в робочий простір Matlab використовуємо блок To Workspace.

По суті, використовується ідеальний сигнал (або сума сигналів), змодельований блоком-генератором (або декількома блоками) і отримуємо на виході необхідний результат шляхом його модифікації (додаванням, множенням на інший сигнал або задану константу тощо) за допомогою відповідних блоків. Типова модель Simulink (рис. 1.) містить блок-генератор (Chirp Signal), блок-модифікатор (Gain) та блок To Workspace.

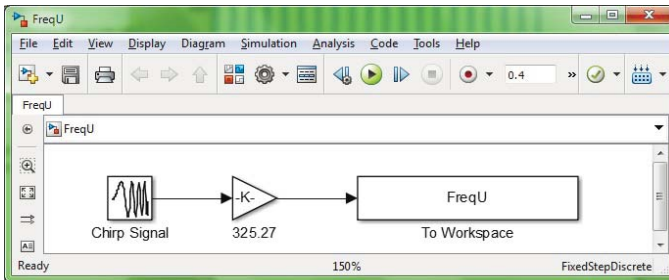


Рис. 1. Типова модель Simulink для моделювання реалізації електричної напруги.

Наведемо ряд отриманих результатів (рис. 2 - 7).

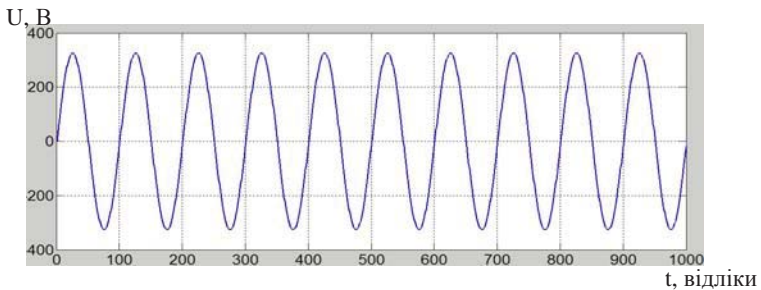


Рис. 2. Графік змодельованої реалізації сигналу ідеальної електричної напруги

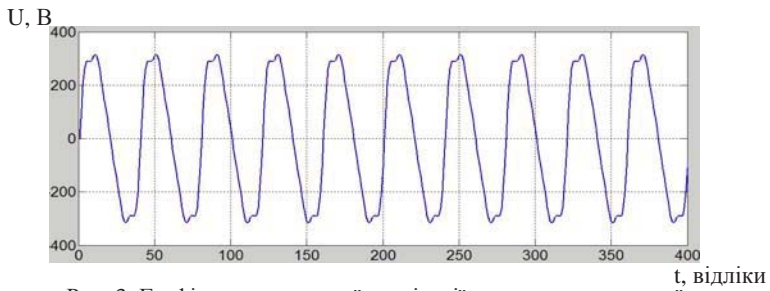


Рис. 3. Графік змодельованої реалізації сигналу електричної напруги із 1-5-ю гармоніками

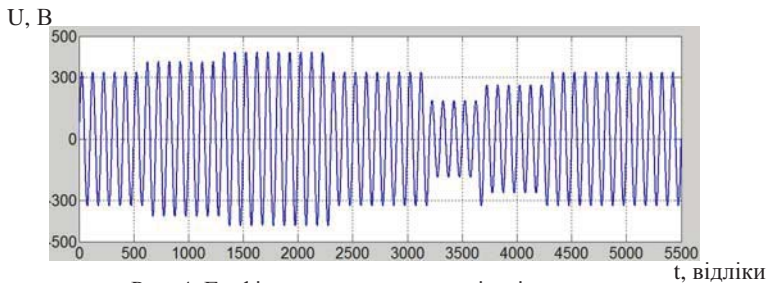


Рис. 4. Графік змодельованої реалізації сигналу електричної напруги з провалами напруги та перенапругою

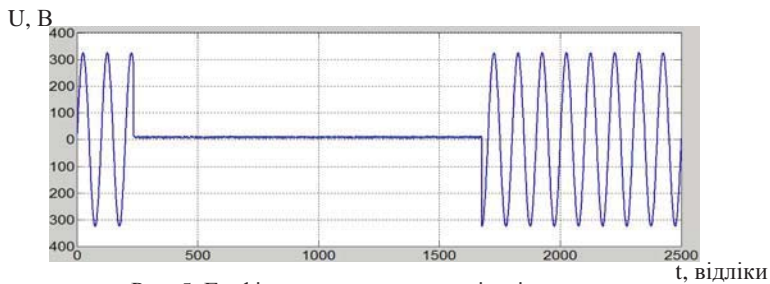


Рис. 5. Графік змодельованої реалізації сигналу електричної напруги із перериванням напруги

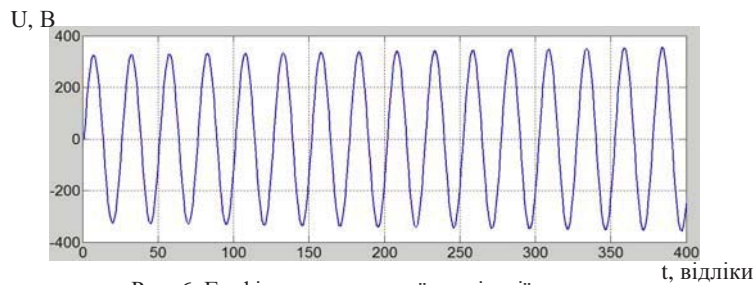


Рис. 6. Графік змодельованої реалізації сигналу електричної напруги із лінійно зростаючою в часі амплітудою

Наведемо також приклад отриманої реалізації, яка характеризується зміною в часі одразу декількох характеристик сигналу напруги, що веде до погіршення якості електроенергії по декількох показниках одночасно (рис. 7).

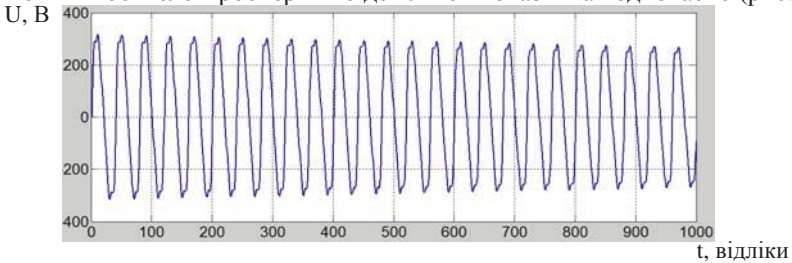


Рис. 7. Графік змодельованої реалізації сигналу електричної напруги із лінійно змінною в часі амплітудою та 1-5-ю гармоніками

Отримані під час моделювання реалізації в середовищі Matlab представлені у вигляді іменованих масивів дійсних значень (рис. 8). Надалі, залежно від конкретних задач, які стоять перед дослідником, можливі різні варіанти роботи із отриманими в результаті моделювання масивами даних:

- збереження окремим файлом всіх масивів разом (у вигляді т. зв. робочого простору – Workspace) із можливістю продовжити роботу з ними пізніше засобами програмування самого Matlab;
- збереження (з допомогою буферу обміну Windows або ж функцій запису у файл dlmwrite чи csvwrite самого Matlab) масивів реалізації у текстові файли форматів txt, csv тощо, зручні для обробки програмними засобами сторонніх розробників;
- запис засобами Matlab Database Toolbox масивів реалізацій в бази даних СУБД Microsoft Access, Microsoft SQL Server, MySQL тощо.

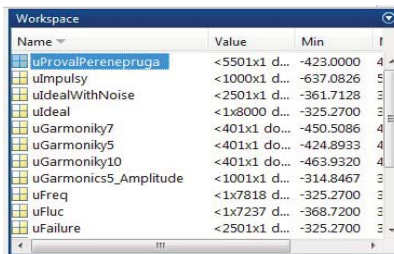


Рис. 8. Вікно Workspace середовища Matlab із масивами змодельованих реалізацій напруги

При цьому доречно зберігати разом із відліками напруги також відповідні відліки часу. Можливість збереження відліків часу у вигляді окремого масиву (з ім'ям tout по замовчуванню) в робочий простір Matlab задається у відповідному вікні налаштування параметрів моделі Simulink.

В роботі пропонується структура найпростішої бази даних під управлінням СУБД MySQL для збереження змодельованих реалізацій електричної напруги (рис. 9).

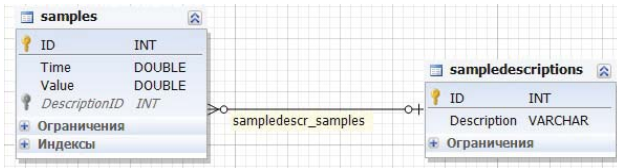


Рис. 9. Схема найпростішої бази даних для збереження отриманих реалізацій електричної напруги

В склад даної бази даних входять дві таблиці, структуру та призначення полів яких представлено в табл. 1.:

1. SampleDescriptions, призначена для збереження текстового опису реалізацій напруги;
2. Samples, призначена для збереження отриманих реалізацій електричної напруги, включаючи відліки часу.

Таблиця 1

Структура таблиць запропованої бази даних

Таблиця	Поле	Тип	Призначення
SampleDescriptions	ID	Int (ціле число)	Первинний ключ
SampleDescriptions	Description	Varchar (текстова стрічка)	Текстовий опис реалізацій напруги в довільній формі
Samples	ID	Int (ціле число)	Первинний ключ
Samples	Time	Double (дійсне число подвійної точності)	Відліки часу
Samples	Value	Double (дійсне число подвійної точності)	Значення напруги
Samples	DescriptionID	Int (ціле число)	Зовнішній ключ

Імпорт даних з робочого простору Matlab в базу даних MySQL здійснено засобами Matlab Database Toolbox. В запропонованій базі даних змодельовані реалізації зберігаються в “сирому” вигляді – поелементно, разом із відліками часу, які відповідають відлікам напруги. Структура запропованої бази даних може бути адаптованою під конкретні задачі, розв’язувані дослідниками. В загальному випадку подібна база даних може складатися із багатьох таблиць. Разом із реалізаціями напруги можна зберігати певні усереднені значення, статистичні характеристики, звіти тощо.

Висновки. Обґрунтовано методологічні основи та проведено моделювання засобами Simulink реалізацій сигналів електричної напруги із

різними зразками спотворення форми кривої сигналу. Запропоновано проводити моделювання на основі використання двох типів спотворення форми кривої сигналу електричної напруги: штатного (показники якості знаходяться в гранично допустимих межах, наявне незначне або невелике відхилення форми кривої електричної напруги від ідеальної) і нештатного (принаймні один із показників якості виходить за гранично допустимі межі, що помітним чином відбивається на формі кривої електричної напруги). Запропоновано здійснювати збереження змодельованих реалізацій електричної напруги в базі даних під управлінням СУБД MySQL.

До перспектив подальших досліджень належить моделювання всіх можливих зразків спотворення форми кривої сигналу електричної напруги штатного і нештатного типу. На наступному етапі відбуватиметься статистична обробка змодельованих реалізацій при розробці та відпрацюванню алгоритмів, які входитимуть в склад відповідної ІВС контролю та моніторингу якості електроенергії.

Оскільки в процесі моделювання чітко відомими є параметри використаних блоків середовища Simulink, обчислені на основі отриманих реалізацій значення показників якості теж будуть чітко відомими. Виходячи з цього, отриману базу реалізацій можна використати в якості зразкової міри при розробці нормативних документів та засобів вимірювання.

1. Жежеленко И. В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 2000. - 253 с.
2. IEC 61000-4-30:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods
3. ДСТУ EN 50160:2010 Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності
4. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
5. Венславский В. Б. Моделирование электронных систем источник-приёмник: Монография / В. Б. Венславский; Забайкал. гос. гум.-пед. ун-т. – Чита, 2012. – 139 с.
6. Дрокин Д. С. Моделирование электрических сетей на зэм / Д. С. Дрокин. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – №7. – С. 95–99.
7. Масленникова С.И. Расчет переходных процессов в электрических цепях во временной области: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 36 с.: ил.
8. Володарський Є. Т., Волошко А. В. Система моніторингу якості електричної енергії в децентралізованих системах електропостачання // ВЕЖПТ . 2014. №8 (69). С.10-17.
9. Волошко А. В. Теорія та практика оцінювання якості електричної енергії в інтегрованих системах електропостачання: дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.02 / Волошко Анатолій Васильович. – К., 2014. – 332 с.
10. Simulink [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.mathworks.com/help/simulink/index.html>. – Назва з екрану. – Дата звернення: 11.02.2016

Поступила 22.09.2016р.