

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 621.311.1.018.3

П. Д. Лежнюк¹
О. О. Мірошник²

ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕТВОРЕНЬ ФУР'Є ТА ВЕЙВЛЕТ-СПЕКТРОГРАМ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СПОТВОРЕНЬ РЕЖИМІВ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ 0,38/0,22 КВ

¹Вінницький національний технічний університет;

²Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка

Виконано порівняльний аналіз застосування математичного апарату Фур'є та вейвлет-перетворень щодо ідентифікації спотворень несинусоїдальних режимів розподільних мереж 0,38/0,22 кВ. Виконано тестовий аналіз моделей сигналів, що містять різні види спотворень. Результати аналізу показали переваги вейвлет-аналізу перед Фур'є-аналізом, зокрема завдяки локалізованості вейвлетів як в часовій, так і в частотній області.

Ключові слова: несинусоїдальність напруги, вейвлет-аналіз, ідентифікація спотворень.

Вступ

З переходом України на ринкові відносини проблема якості та зниження втрат електроенергії досить гостро стоїть в енергетиці нашої держави. Протяжність розподільних мереж 0,4—150 кВ в Україні становить близько 1 млн кілометрів, 50 % з них припадає на мережі напругою 0,38/0,22 кВ. Після 1990 року в країні спостерігався значний спад споживання електроенергії промисловістю, але разом з цим зростало використання електроенергії в комунально-побутовому секторі на 5...7 % щорічно. Так, в середньому, комунально-побутове навантаження на один будинок в сільській місцевості виросло з 3,5 до 7 кВт, а розмах варіювання електроприймачів за потужністю складає від 2 до 20 кВт.

На сьогоднішній день показники якості електроенергії в мережах 0,38/0,22 кВ перевищують допустимі ГОСТ 13109-97 в 2...4 рази. Тому виникла необхідність розробки нових методів реєстрації та ідентифікації спотворень режимів роботи розподільних мереж. Особливість розподільних мереж — це велика розосередженість споживачів електроенергії, яка і зумовлює значні протяжності мереж, великі відстані між пунктами споживання, малі величини споживання в кожному вузлі і незначну густину електричного навантаження в місці споживання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Численні дослідження з аналізу режимів роботи розподільних мереж напругою 0,38/0,22 кВ [1—5] показали, що в мережах з комунально-побутовим навантаженням має місце значна несинусоїдальність напруги, що зумовлюється використанням комунально-побутовими споживачами імпульсних блоків живлення, які є в більшості побутових приладів. Споживачі з нелінійними вольтамперними характеристиками споживають з мережі несинусоїдальні струми при підведенні до їх затискачів синусоїдальної напруги. Струми вищих гармонік, що протікають елементами мережі, спричиняють падіння напруги на опорах цих елементів і, накладаючись на основну синусоїду напруги, спотворюють форму кривої напруги у вузлах електричної мережі.

Низька якість електричної енергії істотно впливає на техніко-економічні характеристики елементів мережі та електроприймачів. Погіршення якості підведеної напруги, знижує експлуатаційну надійність електродвигунів, спричиняє низку негативних електромагнітних явищ в мережах, збільшує додаткові втрати електричної енергії. Крім того, несинусоїдальність напруги прискорює старіння ізоляції електричних машин, трансформаторів, кабелів, погіршує коефіцієнт потужності комунально-побутових споживачів, погіршує або порушує роботу пристроїв автоматики, телеме-

ханіки, комп'ютерної техніки та інших пристроїв з елементами електроніки.

Необхідно мати на увазі, що кількісні показники якості енергії безперервно змінюються у зв'язку з випадковим включенням або відключенням того чи іншого споживача мережі. Тому, крім розв'язання задачі вибору засобів забезпечення необхідної якості енергії, доводиться також вирішувати і завдання вибору надійного методу реєстрації відхилень цих показників. Метою статті є виконання порівняльного аналізу засобів Фур'є та вейвлет-аналізу з метою ідентифікації спотворень несинусоїдальних режимів розподільних мереж 0,38/0,22 кВ.

Перетворення Фур'є і вейвлет-розкладання для ідентифікації несинусоїдальних режимів

Традиційно, ідентифікація спотворень була основана на візуальному спостереженні коливань в часовій області. Ця операція вимагала багато часу, що накладало обмеження на її практичне застосування, особливо коли було необхідно проаналізувати велику кількість інформації. Додаткові ускладнення виникають, коли кілька видів перехідних процесів відбуваються одночасно. У цьому випадку важливим питанням є наявність надійного шляху класифікації різних видів спотворень.

Відомо, що найважливішим засобом аналізу стаціонарних неперервних сигналів є перетворення Фур'є неперервного часу (CNFT). При цьому сигнал розкладається в базис синусів і косинусів різних частот. Кількість цих функцій велика [6]. Коефіцієнти перетворення знаходяться шляхом обчислення скалярного добутку сигналу з комплексними експонентами

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{-i\omega x} dx, \quad (1)$$

де $f(x)$ — сигнал; $F(\omega)$ — його перетворення Фур'є.

З практичної точки зору CNFT має низку недоліків. Так, для отримання перетворення на одній частоті потрібна вся часова інформація, а це означає, що має бути відома майбутня поведінка сигналу. Також на практиці не всі сигнали стаціонарні. Пік в сигналі в часовій області розповсюдиться по всій частотній області його перетворення Фур'є. Для подолання цих недоліків CNFT вводиться короткочасове або віконне перетворення Фур'є (STFT):

$$STFT_f(\omega, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{-i\omega x} w(x-b) dx, \quad (2)$$

в якому застосовується операція множення сигналу на вікно перед застосуванням перетворення Фур'є. Вікном $w(x-b)$ є локальна функція, яка зсувається вздовж часової осі для обчислення перетворення в декількох позиціях b . Перетворення стає залежним від часу, і в результаті виходить частотно-часовий опис сигналу. В якості вікна вибирається функція Гаусса і в цьому випадку зворотне перетворення теж буде виконуватися з використанням віконної функції Гаусса. Також використовуються і інші вікна, залежно від конкретної задачі. Недолік SNFT полягає в тому, що у його обчисленні використовується фіксоване вікно, яке не може бути адаптоване до локальних властивостей сигналу.

Таким чином, з позицій точного представлення перетворення Фур'є довільних сигналів і функцій можна відмітити низку його недоліків:

— перетворення Фур'є навіть для однієї заданої частоти вимагає знання сигналу не тільки в минулому, але і в майбутньому, що є теоретичною абстракцією;

— в умовах практично неминучого обмеження числа гармонік або спектра коливань точне відновлення сигналу після прямого і зворотного перетворень Фур'є теоретично (і тим більше практично) неможливе, зокрема через появу ефекту Гіббса;

— базисною функцією при розкладанні в ряд Фур'є є гармонічне (синусоїдальне) коливання, яке математично визначено в інтервалі часу від $-\infty$ до $+\infty$ і має незмінні в часі параметри;

— чисельне інтегрування в часовій області від $-\infty$ до $+\infty$ у прямому перетворенні Фур'є (ППФ) і в частотній області від 0 до $+\infty$ у зворотному перетворенні Фур'є (ЗПФ) викликає великі обчислювальні труднощі;

— окремі особливості сигналу (наприклад, розриви або піки) викликають незначні зміни частотного образу сигналу на всьому інтервалі частот від $-\infty$ до $+\infty$, які «розмазуються» по всій частотній осі, що робить їх виявлення по спектру практично неможливим;

— єдиним засобом представлення швидких змін сигналів, таких як піки або перепади, є різке

збільшення числа гармонік, які впливають на форму сигналу і за межами локальних особливостей сигналу;

— за складом вищих складових спектра практично неможливо оцінити місце розташування особливостей на часовій залежності сигналу і їх характер;

— для нестационарних сигналів (а саме такими є осцилограми електроенергетичних сигналів в мережах 0,38/0,22 кВ) труднощі прямого і зворотного перетворення Фур'є (і, відповідно, швидкого перетворення Фур'є (ШПФ)) багаторазово зростають.

Невеликі розриви (сходинки) на синусоїдальному або будь-якому плавно змінному сигналі важко виявити в його Фур'є-спектрі, бо вони створюють вищі гармоніки дуже малої амплітуди [7]. Спектр таких сигналів містить ледь помітні високочастотні складові спектра, за якими розпізнати локальну особливість сигналу, і тим більше її місце і характер, практично неможливо.

Представлення за допомогою вейвлетів довело свою перевагу перед Фур'є-перетворенням в задачах аналізу нестационарних сигналів завдяки локалізованості як в часовій, так і в частотній області [6, 7]. Ключова ідея полягає в тому, щоб декомпонувати осцилограму напруги на складові, які являють собою його згладжену і детальну версії. Потім, використовуючи їх, виявляються і виділяються різні типи відхилень якості електроенергії. Характеристики різних спотворень сигналу містяться в коефіцієнтах його вейвлет-розкладання. Проблема полягає в тому, як використати ці коефіцієнти, щоб виділити і категоризувати різні види спотворень. Найдоцільнішим є відпрацювання методики ідентифікації спотворень на математичних моделях типових спотворень електроенергетичних сигналів, які мають місце в розподільних мережах 0,38/0,22 кВ. А потім розробити методику визначення адресності джерел вищих гармонік, а також розробити технічні засоби для їх придушення.

Вейвлет-фільтр допустимо будувати на основі або дискретного (DWT), або неперервного (CWT) перетворень. Пряме неперервне вейвлет-перетворення (ПНВП) сигналу $s(t)$ задається, за аналогією з перетворенням Фур'є, шляхом обчислення вейвлет-коефіцієнтів за формулою

$$W(a, b) = \int_R s(t) a^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (3)$$

тобто вейвлет-коефіцієнти визначаються інтегральним значенням скалярного добутку сигналу на вейвлет-функцію заданого виду. Параметр a задає масштаб, а параметр b — положення вейвлету.

Зворотне неперервне вейвлет-перетворення (ЗНВП) здійснюється за формулою реконструкції в часовій області

$$s(t) = \frac{1}{K\psi} \int_{R^+} \int_R W(a, b) a^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \frac{dadb}{a^2}, \quad (4)$$

де $K\psi$ — константа, що визначається функцією ψ , $s(t)$ — енергія сигналу, що дорівнює $\int_R S^2(t) dt$,

скінченна у просторі V сигналу з областю обмеження R .

Однак неперервне вейвлет-перетворення вимагає великих обчислювальних витрат у разі його проведення. Тому для практичного його застосування необхідна дискретизація значень a і b : $a = 2^j$ і $b = k2^l$, де j і k — цілі числа [8].

Для дискретних значень a і b вейвлет-функція може бути представлена у вигляді

$$\psi_{j,k}(t) = a_0^{-j/2} \psi(a_0^{-j}t - k). \quad (5)$$

Отже, пряме дискретне вейвлет-перетворення зводиться до обчислення коефіцієнтів $W(a, b)$ за формулою (3) з підстановкою дискретних значень a і b , тобто

$$W(j, k) = d_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} a_0^{-j/2} \psi(a_0^{-j}t - k) s(t) dt. \quad (6)$$

Тут $W(j, k) = d_{j,k}$ — деталізовані коефіцієнти для вейвлет-декомпозиції сигналу рівня k (обидва позначення цих коефіцієнтів рівноцінні). Ці коефіцієнти дискретні, тобто обчислюються для заданих j і k .

Зворотне дискретне вейвлет-перетворення (ЗДВП) для неперервних сигналів задається формулою

$$s(t) = \frac{1}{C\psi} \sum_{j \in Z} \sum_{k \in Z} W(j, k) a_0^{-j/2} \psi(a_0^{-j}t - k). \quad (7)$$

Априорно зробити висновок про перевагу одного з цих двох варіантів не можна. Власне, однозначної відповіді на це питання і не існує — кожен має свої переваги і недоліки.

Сформулюємо основні вимоги для вейвлет-фільтрів:

1. Найточніше виділення високочастотних складових сигналу і основної гармоніки;
2. Мінімальна кількість рівнів декомпозиції;
3. Найменша довжина фільтра.

На підставі вищесказаного був проведений аналіз і порівняння фільтрів з метою виявлення найбільш відповідного для вирішення даної задачі.

Аналіз і вибір вейвлет-фільтрів гармонічного сигналу напруги

Згідно з першим критерієм, необхідно підібрати такий вейвлет, який дозволить найточніше відновити сигнал після прямого і зворотного вейвлет-перетворення. Це припущення ґрунтується на тому, що якщо сигнал точно відновлюється після зворотного перетворення, то пряме перетворення здійснюється без значних втрат особливостей сигналу.

В якості тестової, використовується модель сигналу, що містить високочастотні спотворення по всій довжині. Характеристики сигналу такі:

- тривалість сигналу — 0,2 с;
- частота дискретизації — 10000 Гц;
- частота основної гармоніки — 50 Гц;
- кількість періодів основної частоти — 10;
- рівень високочастотних спотворень — незмінний на всьому проміжку сигналу.

Фільтруючи вихідний сигнал S за допомогою різних вейвлет-функцій, будемо знаходити для нього середньоквадратичне відхилення δ від синусоїдальної функції F , яка містить лише основну гармоніку ($f_1 = 50$ Гц) відповідного сигналу

$$\delta = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_W - F)^2}, \quad (8)$$

де n — кількість відліків досліджуваного сигналу; S_W — сигнал, отриманий в результаті фільтрації тестового сигналу, тривалістю n відліків; F — сигнал, що є функцією синуса і відповідає основній гармоніці тестового сигналу, тривалістю n відліків.

Другий критерій являє собою мінімальну кількість рівнів декомпозиції досліджуваного сигналу, при якому досягається найбільш точне представлення основної гармоніки в його коефіцієнтах апроксимації.

Третій критерій — довжина вейвлет-фільтра, тобто кількість коефіцієнтів, також дуже важлива, тому що від цього залежить швидкість обчислення вейвлет-перетворення, що є дуже актуальним при неперервному аналізі.

Дуже важливо знайти компроміс — фільтр з найменшою довжиною та кількістю рівнів декомпозиції і досить невеликим значенням δ . На сьогоднішній день не існує чітких правил для вибору того чи іншого вейвлету. Тому правильність вибору вейвлету залежить від низки критеріїв, що характеризують ту чи іншу задачу. Вибираючи тип вейвлету, необхідно враховувати такі критерії, як ортогональність та неортогональність, форма, ширина, а також комплексна чи дійсна вейвлет-функція. Зупинимось детально на кожному з цих критеріїв. Оскільки будемо мати справу з несинусоїдальними сигналами, що мають місце в розподільних мережах, то в цьому випадку доцільно використовувати неортогональний вейвлет, бо неортогональні перетворення досить зручні для аналізу часових рядів, що мають гладкий неперервний характер. В цьому випадку досить зручно користуватися комплексною вейвлет-функцією, оскільки вона дозволяє отримати інформацію, як про амплітуду, так і про фазу, і дозволяє краще виділяти коливальні процеси. На відміну від комплексної, дійсна вейвлет-функція повертає тільки першу компоненту і може бути використана для виділення піків або розривів. Вибираючи ширину вейвлет-функції, необхідно зробити вибір між шириною в реальному просторі та шириною у просторі Фур'є. Вибір меншої ширини функції у часовому масштабі дозволить мати покращене розподілення за часом, але погіршене розподілення за частотою, в той час як вибір більшої ширини функції у часовому масштабі буде мати погіршене розподілення за часом, але покращене розподілення за частотою. Крім цього вейвлет-функція має відображати характер функцій у часовому ряду. Для часових рядів з різкими скачками або переходами доцільно вибрати «кутату» функцію, таку як вейвлет Хаара, а для часового ряду, що плавно змінюється, доцільно вибрати

гладку функцію, наприклад косинус, що затухає.

Для спектрального аналізу гармонічного сигналу напруги доцільно вибирати гладку вейвлет-функцію. Такими є функції Morlet, Paul, Mag (мексиканський капелюх) та інші вейвлети що базуються на похідних Гауссової функції. Перші дві функції є комплексними, а усі інші — дійсними. Застосування дійсних функцій для аналізу синусоїдального сигналу приводить до появи позитивних та негативних напівперіодів на спектрограмі, що ускладнює її аналіз. Таким чином найпридатнішими можна вважати функції Morlet та Paul. Остання є більш «вузькою» у часовому просторі та, як наслідок, має дещо гіршу роздільну здатність за частотою, але ліпшу локалізацію у часі.

Аналітичний вираз форми вейвлету Paul порядку m та його Фур'є представлення має такий вигляд:

$$\Psi(\eta) = \frac{2^m i^m m!}{\sqrt{\pi(2m)!}} (1 - i\eta)^{-(m+1)}; \quad (9)$$

$$\hat{\Psi}(s\omega) = 2^m \sqrt{m(2m-1)!} (s\omega)^m e^{-s\omega} H(\omega), \quad (10)$$

де $H(\omega)$ — функція Хевісайда.

Таким чином, будемо мати справу з неортогональним вейвлетом, що має комплексну вейвлет-функцію, вузьким по ширині і має форму згасаючого косинуса. Враховуючи вищесказане, а також результати візуальної оцінки здатності фільтрів до виділення високочастотних складових [7—9], найбільш відповідним для вирішення поставленого завдання можна визнати вейвлет типу Paul.

Види спотворення і їх ідентифікація

Враховуючи вищесказане, розглянемо вейвлет-перетворення моделей сигналів, що містять різні види спотворень. На рис. 1 представлена модель спотворення типового для електричних сигналів в мережах 0,38/0,22 кВ — короткочасне зникнення змінної напруги. На Фур'є-спектрі цього сигналу (рис. 2) видно лише наявність основної гармоніки з частотою 50 Гц, але, при цьому, ніякої інформації про відсутність сигналу протягом одного періоду немає. На (рис. 3) показано двовимірну та тривимірну вейвлет-спектрограму цього сигналу. На вейвлет-спектрограмі сигналу є незаповнена область, що відповідає провалу напруги, причому на цьому відрізку значення вейвлет-коефіцієнтів малі або дорівнюють нулю.

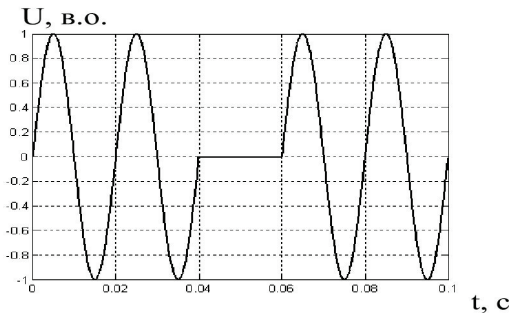


Рис. 1. Короткочасне зникнення змінної напруги

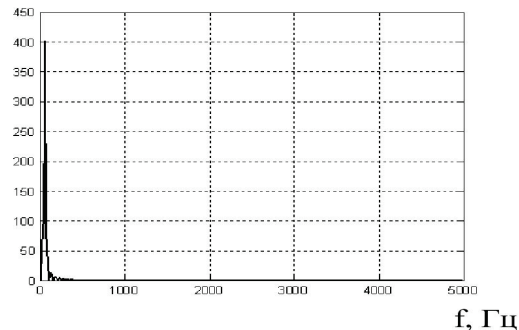


Рис. 2. Фур'є-спектр сигналу з короткочасним зникненням змінної напруги

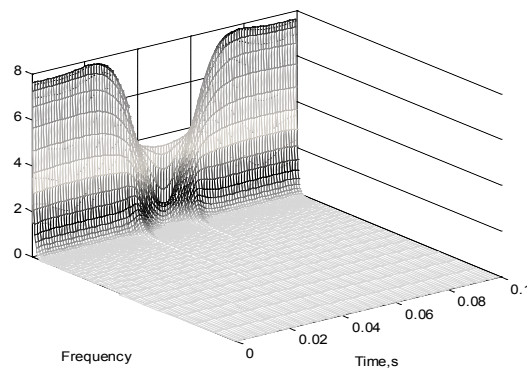


Рис. 3. Двовимірна та тривимірна вейвлет-спектрограма сигналу з короткочасним зникненням змінної напруги

На рис. 4 зображено інший вид спотворення — тимчасове відхилення амплітуди змінної напруги від заданого значення. В нашому випадку — п'ятдесятвідсоткове зниження амплітуди протягом одного періоду. Фур'є-спектр цієї кривої (рис. 5) аналогічний зображеному на рис. 2. На рис. 6 показана вейвлет-спектрограма сигналу, де чітко помітне зниження рівня сигналу та його розташування на часовій осі і тривалість.

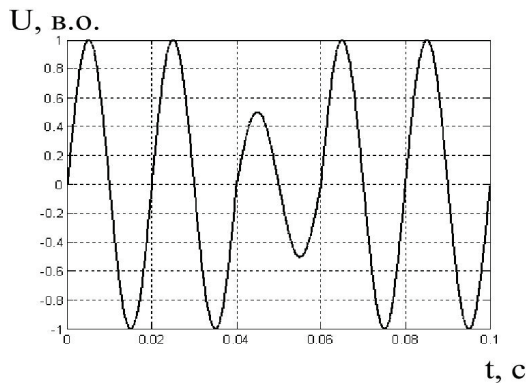


Рис. 4. П'ятдесятвідсоткове зниження амплітуди протягом одного періоду

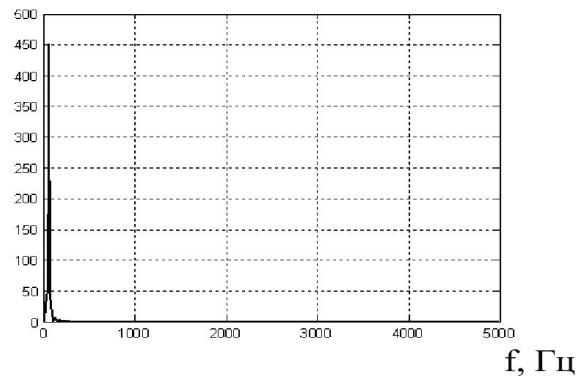


Рис. 5. Фур'є-спектр сигналу з п'ятдесятвідсотковим зниженням амплітуди протягом одного періоду

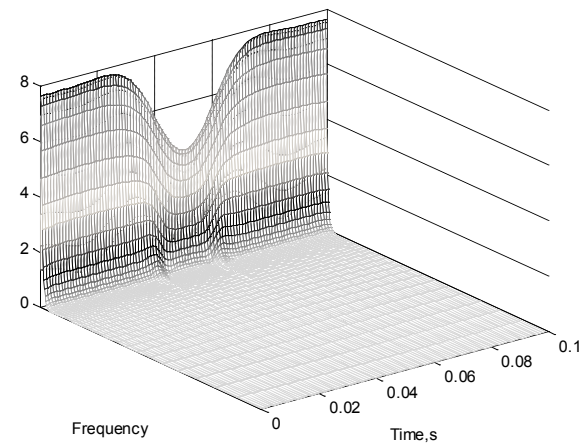
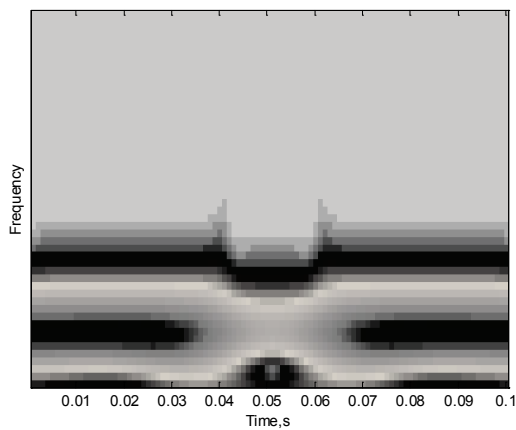


Рис. 6. Двовимірна та тривимірна вейвлет-спектрограма сигналу з п'ятдесятвідсотковим зниженням амплітуди протягом одного періоду

На рис. 7 показано спотворення змінної напруги, яке спричинено короткочасним високочастотним імпульсом. На Фур'є-спектрі сигналу (рис. 8) наявність спотворень ніяк не відображена. Найчіткіше розташування високочастотного імпульсу можна визначити на вейвлет-спектрограмі, показаній на рис. 9.

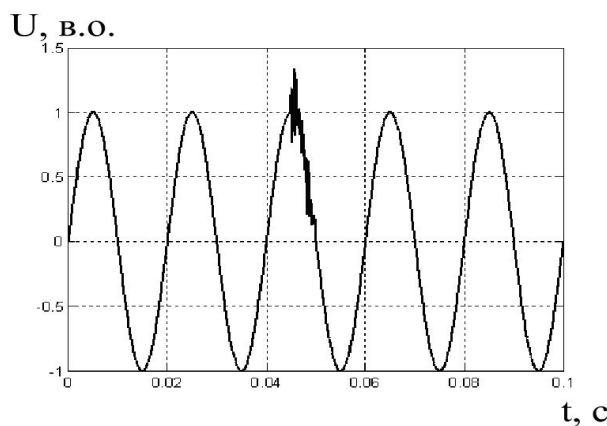


Рис. 7. Короткочасний високочастотний імпульс

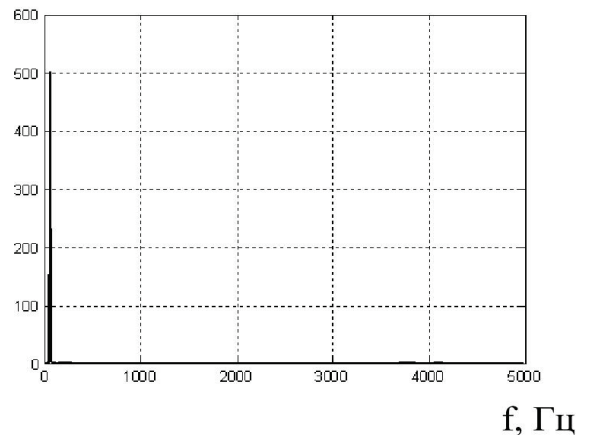


Рис. 8. Фур'є-спектр сигналу з короткочасним високочастотним імпульсом

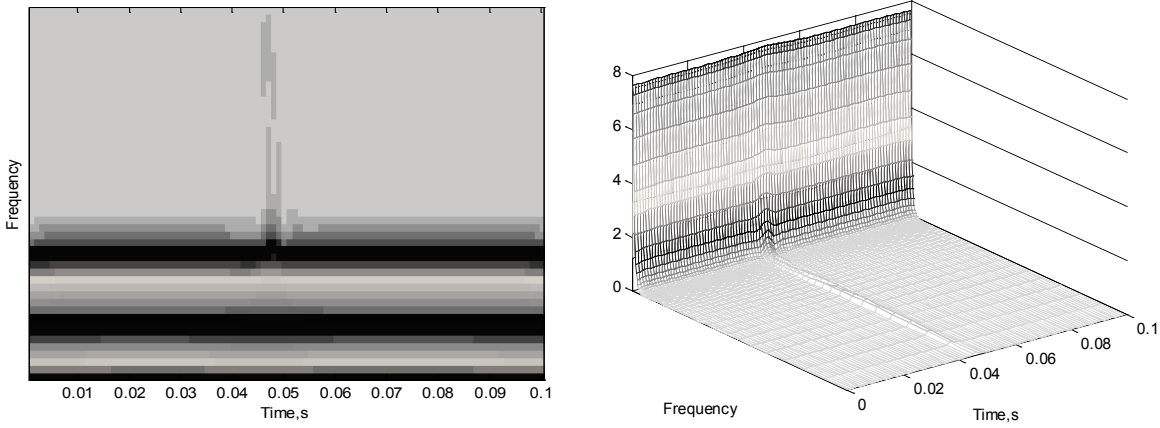


Рис. 9. Двовимірна та тривимірна вейвлет-спектрограма сигналу з короткочасним високочастотним імпульсом

На рис. 10 показано спотворення напруги, що містить всі розглянуті раніше види спотворень. На рис. 11 зображено його Фур'є-спектр, а на рис. 12 — його двовимірну та тривимірну спектрограми.

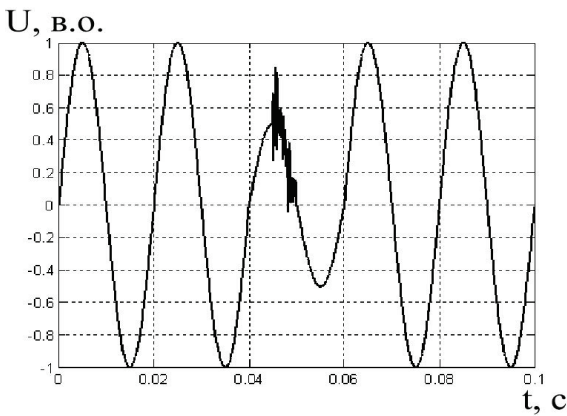


Рис. 10. Спотворення напруги, що містить всі розглянуті раніше види спотворень

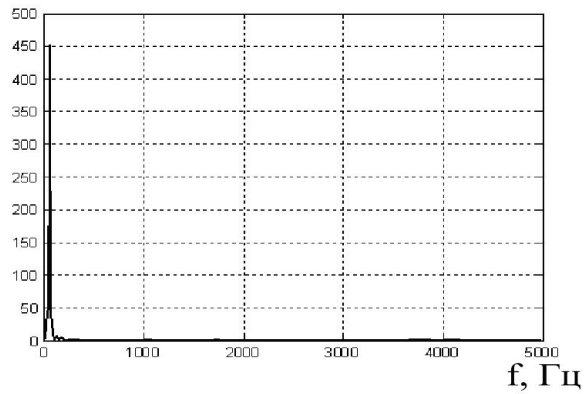


Рис. 11. Фур'є-спектр сигналу зі спотворенням напруги, що містить всі розглянуті раніше види спотворень

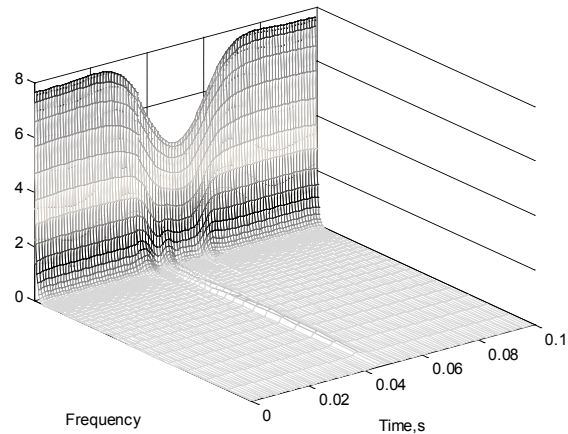
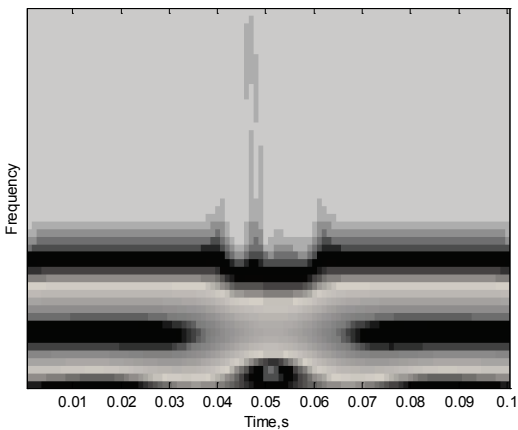


Рис. 12. Двовимірна та тривимірна вейвлет-спектрограма сигналу зі спотворенням напруги, що містить всі розглянуті раніше види спотворень

Як випливає з рисунків, всі види спотворень напруги можуть бути ідентифіковані за допомогою вейвлет-аналізу. Тобто, вейвлет-перетворення дозволяє виділити і визначити з високою точністю різні спотворення напруги у будь-якій ситуації.

Висновки

Вейвлет-перетворення має низку переваг перед Фур'є-перетворенням, зокрема при ідентифікації спотворень несинусоїдальних режимів розподільних мереж 0,38/0,22 кВ. На основі таких критеріїв як неортогональність вейвлету, комплексність вейвлет-функції, вузька ширина та форма «затухаючий косинус» вибрано вейвлет типу Paul. За допомогою вибраного вейвлету Paul виконано перетворення сигналу в двовимірну і тривимірну область, що дозволило отримати частотні компоненти і їх розташування на часовій осі одночасно. Причому отримані результати можна використовувати для аналізу параметрів якості електроенергії під час виявлення різних видів спотворень змінної напруги в розподільних мережах 0,38/0,22 кВ. Крім цього, отримані результати дозволяють на основі вейвлет-перетворення реалізувати алгоритми розпізнавання образів спотворень електроенергетичних сигналів за допомогою, наприклад, нейронних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Жежеленко И. В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. — 4-е изд., перераб. и доп. / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко. — М. : Энергоатомиздат, 2005. — 261 с.
2. Сапунов М. В. Вопросы качества электроэнергии / М. В. Сапунов // Новости электротехники. — 2001. — № 4. — С. 8—10.
3. Шидловский А. К., Жаркин А. Ф. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях / А. К. Шидловский, А. Ф. Жаркин. — К. : Наукова думка, 2005. — 210 с.
4. Варещкий Ю. О. Идентификация джерел гармоник в электрической сети на основе нейронной сети / Ю. О. Варещкий, Т. І. Наконечний, М. Д. Федонюк // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. Ч 1. — 2011. — С. 197—204.
5. Гриб О. Г. Мониторинг показателей качества электрической энергии на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства / О. Г. Гриб, О. Н. Довгалоук, В. А. Сапрыка, А. В. Сапрыка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. — 2010. — Вип. 101. — С. 25—27.
6. Воробьев В. И. Теория и практика вейвлет-преобразования / В. И. Воробьев, В. Г. Грибунин. — СПб. : изд-во ВУС, 1999. — 204 с.
7. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. — 2-е изд. — СПб : Питер, 2006. — 751 с.
8. Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразования : учеб. пособие. / А. Н. Яковлев. — Новосибирск : изд-во НГТУ, 2003. — 104 с.
9. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. / Н. К. Смоленцев. — М. : ДМК Пресс, 2005. — 304 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій і систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 10.10.2014

Лежнюк Петро Дем'янович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій і систем, e-mail: lpd@inbox.ru.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Мірошник Олександр Олександрович — докторант кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, Харків

P. D. Lezhniuk¹
O. O. Miroshnyk²

Application of Fourier transforms and wavelet-spectrograms for identification of distortion modes of distribution networks 0,38/0,22 kV

¹Vinnitsia National Technical University;

²Kharkiv P. Vasylenko National Technical University of Agriculture

A comparative analysis of the use of the mathematical apparatus of Fourier and wavelet transformations for the identification of non-sinusoidal distortion modes of distribution networks 0, 38 / 0, 22 kV is conducted. The test analysis of models of signals containing different kinds of distortion is carried. The results showed the advantages of wavelet analysis to Fourier analysis, in particular through the Localization of wavelets in both time and frequency domains.

Keywords: nonsinusoidality voltage, wavelet analysis, identification of distortion.

Lezhniuk Petro D. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Electric Power Stations and Systems, e-mail: lpd@inbox.ru;

Miroshnyk Oleksandr O. — Post-Doctoral Student of the Chair of Automation and Computer-Integrated Technologies

П. Д. Лежнюк¹
А. А. Мирошник²

Применение преобразований Фурье и вейвлет-спектрограмм для идентификации искажений режимов работы распределительных сетей 0,38 / 0,22 кВ

¹Винницкий национальный технический университет;

²Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко

Выполнен сравнительный анализ применения математического аппарата Фурье и вейвлет-преобразований по идентификации искажений несинусоидальных режимов распределительных сетей 0,38/0,22 кВ. Выполнен тестовый анализ моделей сигналов, содержащих различные виды искажений. Результаты анализа показали преимущества вейвлет-анализа перед Фурье-анализом, в частности благодаря локализуемости вейвлетов как во временной, так и в частотной области.

Ключевые слова: несинусоидальность напряжения, вейвлет-анализ, идентификация искажений.

Лежнюк Петр Демьянович — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электрических станций и систем, e-mail: lpd@inbox.ru;

Мирошник Александр Александрович — докторант кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий