

## ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ОБРИВІВ СТРИЖНІВ РОТОРІВ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

*Ромашихіна Ж.І., асп., Калінов А.П., к.т.н., доц.*

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського*

*вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна*

*E-mail: romashihina\_zhanna@mail.ru, scenter@kdu.edu.ua*

Теоретично обґрунтовано основні переваги аналізу сигналів за допомогою вейвлет-перетворення над спектральним аналізом сигналів при використанні апарату Фур'є, проаналізовано ряд досліджуваних сигналів відповідно до основних факторів, якими визначається вибір материнського вейвлету, встановлено, що для аналізу діагностичних сигналів доцільно використовувати вейвлет Морле.

**Ключові слова:** асинхронний двигун, обрив стрижнів ротора, електрорушійна сила, вейвлет-перетворення, вейвлет Морле.

**Вступ.** У більшості випадків робота електричних машин, зокрема асинхронних двигунів (АД), супроводжується важкими умовами роботи, що зумовлює виникнення різноманітних за характером пошкоджень. Тому проблеми діагностики АД давно набули актуальності.

Аналіз статистичних даних по ремонтних підприємствах показав, що найбільш часто виникають пошкодження обмоток статорів і роторів та механічної частини АД [1]. Пошкодження обмоток найбільш часто виникають у двигунах великої потужності, вибухозахищених АД середньої потужності та малопотужних АД, коли пошкодження стрижнів ротора обумовлені дефектами заливки білячої клітки.

**Аналіз попередніх досліджень.** У сучасній науковій практиці у сфері діагностики пошкоджень обмоток ротора АД активно використовується значна кількість відомих методів. Використання методів визначається рядом факторів, а саме: вимогами, які висуваються до результатів діагностики, умовами, в яких проводиться діагностування двигунів, видом технологічного процесу, в якому задіяні АД, режимом їх роботи, рівнем автоматизованості діагностичного обладнання. В роботі [2] запропоновано класифікацію методів діагностики за різними класифікаційними ознаками відповідно до висунутих критеріїв, одним із яких є ступінь витрат часу на процес обробки отриманої в результаті досліджень інформації та прийняття рішення стосовно наявного пошкодження.

Значна кількість методів діагностики пошкоджень обмоток роторів АД спирається на спектральний аналіз електричних величин, таких як струми, напруги фаз статорів та активна споживана потужність [3-9]. За окремими невідповідностями у спектрах цих величин зазвичай робиться висновок про наявність пошкодження. Однак використання при цьому апарату Фур'є має ряд недоліків:

- неможливість виявлення пошкоджень на частотах, які не кратні частоті мережі;
- неможливість аналізу нестационарних сигналів зі складними частотно-часовими характеристиками;
- неможливість локалізації місця та ступеня пошкодження;
- низька точність виявлення локальних особливостей сигналів або ж миттєвих змін частотних складових сигналів.

Наведених недоліків дозволяє уникнути використання вейвлет-перетворення (ВП) в задачах діагностики пошкоджень обмоток роторів АД.

У сфері діагностики обмоток роторів АД дедалі частіше набувають розвитку методи з використанням вейвлет-функцій [10].

Вейвлет-перетворення є узагальненням спектрального аналізу, однак завдяки можливості аналізу як у частотній, так і в часовій областях, дозволяє аналіз та обробку сигналів і функцій, нестационарних у часі або ж неоднорідних у просторі [11].

Вейвлет-перетворення підрозділяють на дискретне вейвлет-перетворення (ДВП), що виконує перетворення та кодування сигналів, та неперервне вейвлет-перетворення (НВП), яке використовується для аналізу сигналів.

Базовими функціями вейвлет-перетворення можуть виступати різноманітні функції з компактним носієм - модульовані імпульсами синусоїди, функції зі стрибками рівня й т. ін. Вони забезпечують хороше відображення й аналіз сигналів з локальними особливостями, в тому числі зі стрибками, розривами та перепадами значень з великою крутизною [12].

Вейвлетний базис простору доцільно конструювати з фінітних функцій, які повинні наближатися до нуля на нескінченності. Чим швидше ці функції наближаються до нуля, тим зручніше використовувати їх як базис перетворення при аналізі реальних сигналів [13].

В основі вейвлет-перетворення в загальному випадку лежить використання двох безперервних, взаємозалежних і інтегрованих за незалежною змінною функцій [14]:

– вейвлет-функції  $\psi(t)$ , як  $\psi$ -функції часу з нульовим значенням інтегралу та частотним Фур'є-образом  $\Psi(\omega)$ . Цією функцією виділяються локальні особливості сигналу. Зазвичай вибираються функції, добре локалізовані в часовій і частотній областях;

– масштабуючої функції  $\phi(t)$  як скейлінг-функції  $\phi$  і з одиничним значенням інтегралу, на основі якої виконується грубе наближення (апроксимація) сигналу.

$\phi$ -функції властиві не всім, а, як правило, тільки ортогональним вейвлетам. Вони необхідні для перетворення нецентрованих і досить протяжних

сигналів при роздільному аналізі низькочастотних і високочастотних складових.

Згідно з принципом невизначеності [15], чим краще функція сконцентрована в часі, тим більше вона розмита в частотній області. При перемасштабуванні функції добуток часового і частотного діапазонів залишається постійним і являє собою площу комірки в частотно-часовій (фазовій) площині. Перевага вейвлет-перетворення перед, наприклад, перетворенням Габора полягає в тому, що воно представляє фазову площину осередками однакової площі, але різної форми. Це дозволяє добре локалізувати низькочастотні деталі сигналу в частотній області (переважаючі гармоніки), а високочастотні - в часовій (різкі скачки, піки й т. ін.). Більш того, вейвлет-аналіз дозволяє дослідити поведінку фрактальних функцій – тобто функцій, які не мають похідних у жодній своїй точці.

Вейвлет-перетворення несе величезну кількість інформації про сигнал, але, з іншого боку, має сильну надмірність, оскільки кожна точка фазової площини впливає на його результат. Для точного відновлення сигналу достатньо знати його вейвлет-перетворення на деякій досить рідкій решітці у фазовій площині. Отже, і вся інформація про сигнал міститься в цьому досить невеликому наборі значень. Основна ідея полягає в тому, щоб масштабувати вейвлет у деяке постійне число разів і зміщувати його в часі на фіксовану відстань, залежну від масштабу [16]. При цьому всі зміщення одного масштабу повинні бути попарно ортогональними - такі вейвлети називаються ортогональними. При такому перетворенні виконується згортка сигналу з деякою функцією (так званої скейлінг-функцією) і з вейвлетом, пов'язаним з цією скейлінг-функцією. У результаті отримується "згладжена" версія вихідного сигналу і набір "деталей", що відрізняють згладжений сигнал від початкового. Послідовно застосовуючи таке перетворення, можна отримати результат потрібного ступеня детальності та набір деталей на різних масштабах.

Слід розрізнити вейвлети за цільовим призначенням вейвлет-перетворення з позицій декомпозиції - реконструкції сигналів [17]. Оскільки однозначність як декомпозиції сигналів, так і їх реконструкції з вейвлетних спектрів можлива тільки при використанні ортогональних і біортогональних вейвлетів, то для якісного аналізу сигналів та локальних особливостей у сигналах можна застосовувати неортогональні вейвлети, які хоч і не забезпечують реконструкцію сигналів, але дозволяють оцінити інформаційний зміст сигналів і динаміку зміни цієї інформації.

**Мета роботи.** Обґрунтування вейвлет-перетворення для діагностики пошкоджень обмоток роторів АД.

**Матеріал і результати дослідження.** При виборі діагностичного сигналу було враховано той факт, що наявність пошкодження обмотки ротора спотворює магнітне поле в зазорі двигуна, крім цього необхідно враховувати зубчатість конструкцій статора та ротора ЕМ.

Запропоновано використовувати режим відключення двигуна від мережі живлення для діагностики обривів стрижнів ротора, оскільки це дозволяє уникнути негативного впливу неякісних параметрів мережі живлення на результати досліджень та не вимагає виведення двигуна з робочого процесу. Фіксація спотворення магнітного поля при цьому здійснюється за аналізом миттєвих значень електрорушійної сили (ЕРС), яка наводиться в обмотках статора експоненційно загасаючими струмами ротора при відключенні АД від мережі живлення [18].

На рис. 1 наведена ЕРС фази статора АД, на якій видно високочастотні складові, що викликані зубцевими гармоніками поля. Результати суміщення кривих ЕРС фази обмотки статора з ЕРС, яка наводиться у вимірювальній котушці (рис. 2), показали, що сигнал, який фіксується на обмотках статора, дещо згладжується за рахунок просторового розміщення секцій обмотки, але може бути прийнятий у якості діагностичного.

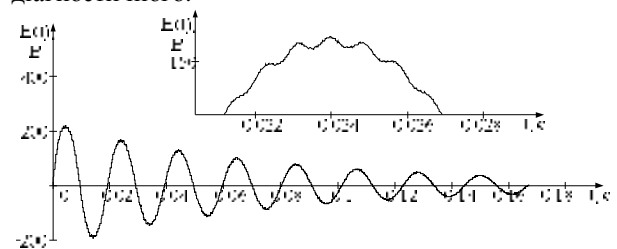


Рисунок 1 – ЕРС фази двигуна

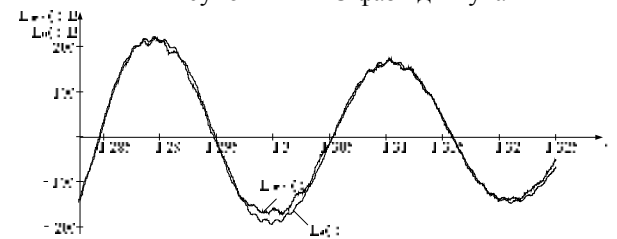


Рисунок 2 – ЕРС фази, суміщена з ЕРС вимірювальної обмотки статора при відключенні АД від мережі

Важливою задачею на даному етапі дослідження є вибір функції вейвлету, оскільки від результатів вибору залежить ефективність аналізу діагностичного сигналу.

Вибір вейвлету, як правило, визначається тим, яку інформацію необхідно отримати з аналізу сигналу. З урахуванням характерних особливостей різних вейвлетів у часовому і в частотному просторі, в сигналах, що піддаються аналізу, можна виявляти ті чи інші властивості, які непомітні на графіках сигналів, особливо в присутності завад.

Для того, щоб виявити можливості ВП при аналізі сигналу ЕРС двигуна, запропоновано провести ряд досліджень для таких сигналів:

- ідеальний сигнал – синусоїда, модульована періодичними високочастотними коливаннями;
- сигнал, який містить інформацію про деякий дефект, – синусоїда, модульована періодичними високочастотними коливаннями зі штучно накладеним збуренням;
- сигнал, найбільш наближений до реального сигналу ЕРС, – синусоїда з експоненційно загасаючою

амплітудою та частотою, модульована загасаючими високочастотними коливаннями зі штучно накладеним збуренням.

У загальному випадку вибір вейвлету, як правило, визначається основними факторами:

- мета аналізу;
- тип сигналу;
- особливості структури сигналу;
- сигнально-перешкодові умови.

Відповідно до вказаних факторів, необхідно проаналізувати запропоновані сигнали та провести вибір вейвлет-функції:

– метою аналізу при дослідженні вказаних сигналів є виявлення у сигналі збурень, викликаних наявністю обривів стрижнів ротора. При цьому в результаті за певним набором отриманих вейвлет-коефіцієнтів необхідно зробити висновок про наявність пошкодження. Тому вейвлет-аналіз сигналів можна виконати без їх подальшої реконструкції, а отже допустиме використання будь-яких вейвлетів, як ортогональних, так і не ортогональних;

– аналізовані сигнали є неперервними і мають коливальний характер. Тому доцільно виконувати неперервне вейвлет-перетворення для локалізації пошкоджень;

– усі сигнали, які підлягають аналізу, являють собою у загальному випадку синусоїди, модульовані періодичними або загасаючими високочастотними коливаннями. Вейвлет-перетворення при цьому можна виконати за допомогою симетричних вейвлетів. До таких вейвлетів відносяться вейвлети Гауса, Морле, вейвлет Мексиканська шляпа, вейвлет Мейера [19]. Перші три вейвлети мають мінімальний набір властивостей, при цьому основними позитивними властивостями є неперервний розклад, симетрія та явне вираження вейвлет-коефіцієнтів;

– запропоновані для вейвлет-аналізу сигнали мають нульовий рівень завад, що дозволить виконати ВП без додаткових операцій для їх відділення.

На основі проведеного аналізу досліджуваних сигналів можна вибрати функцію вейвлету, яка забезпечить ефективний аналіз діагностичного сигналу.

Найбільш часто для аналізу сигналів у частотно-часовій області використовується вейвлет Морле [20] (рис. 3).



Рисунок 3 – Вейвлет Морле

Він визначається як добуток комплексної синусоїди на функцію нормованого розподілу Гауса [20]. Аналітична функція вейвлету Морле має наступний вигляд:

$$y(t) = e^{i\Omega_0 t} \cdot e^{-t^2/2},$$

де  $\Omega_0$  – частота необхідної гармоніки.

Вейвлет Морле в частотній області являє собою функцію Гауса [14], тому ні одна з його спектральних складових не дорівнює нулю. Однак вейвлет

Морле має головну особливість, яка відрізняє його від інших базисів, що також є похідними функції Гауса. Вейвлет Морле налаштовується на необхідну частоту гармоніки, а Гаусова експонента лише надає загасаючого характеру вейвлету.

Приведені властивості аналізованих сигналів у відповідності до факторів, якими визначається тип вейвлет-функції, дозволили встановити, що для виявлення місця обривів стрижня ротора найбільш ефективним є вейвлет Морле. Даний тип вейвлету представляє собою синусоїду, модульовану гауссіаною, є симетричним та може застосовуватися для аналізу коливальних сигналів.

Проведемо вейвлет-аналіз для ідеального сигналу – синусоїди, модульованої періодичними високочастотними коливаннями.

НВП сигналу відображає інформацію як про основну (низькочастотну) складову, так і про високочастотну складову сигналу (рис. 4).

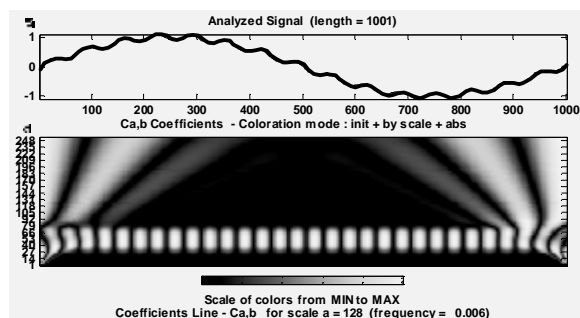


Рисунок 4 – Сигнал синусоїди, модульованої періодичними високочастотними коливаннями та вейвлетний Морле-спектр

У даному випадку масштаб був вибраний максимальний для наглядного відображення можливості відділення низькочастотної та високочастотної складових сигналу. Зокрема, вейвлет-спектр за вертикальними перерізами (а саме перерізами зсуву вейвлету) відображає компонентний склад сигналу (тобто з даного комплексу вейвлетів Морле) для кожного моменту часу.

Для вейвлет-аналізу було вибрано максимальне значення масштабу. На основі отриманого вейвлет-спектру можна стверджувати, що на малих масштабах, як і очікувалось, відображається вплив високочастотних коливань сигналу, а на великих масштабах можна бачити, як змінюється основна частота сигналу. Отже, вейвлет-аналіз синусоїди, модульованої періодичними високочастотними коливаннями за допомогою вейвлету Морле, виявився ефективним.

Далі в роботі проаналізовано наступний сигнал – синусоїда, модульована періодичними високочастотними коливаннями зі штучно накладеним збуренням.

Вейвлет-аналіз вказаного сигналу необхідний для імітації впливу наявності пошкодження обмотки ротора АД на сигнал ЕРС обмотки статора.

Припустимо, що на статорі розподілена у просторі обмотка, при цьому ЕРС кожної з трьох фаз двигуна зсунуті у просторі на  $p/3$ . Змодельємо сигнали ЕРС, враховуючи, що зубчатість присутня лише на

роторі. ЕРС обмоток можна розрахувати за допомогою наступних виразів:

$$e_1(t) = A_1(t) \cdot \cos(2g(t));$$

$$e_2(t) = A_2(t) \cdot \cos(2g(t) + q);$$

$$e_3(t) = A_3(t) \cdot \cos(2g(t) + 2q),$$

де  $A_1(t)$ ,  $A_2(t)$ ,  $A_3(t)$  – синусоїдні функції, якими задано зубчатість ротора з прийнятним значенням зубців на роторі  $N=25$  (кількість зубців вибрана довільно);

$g(t) = \int w(t) dt$  – величина кута, на яку обертається ротор відносно статора;

$q$  – величина кута, на який зсунуті у просторі обмотки статора.

При цьому функції  $A_1(t)$ ,  $A_2(t)$ ,  $A_3(t)$  записані аналітично таким чином, що враховують наявність у сигналі деяких збурень, які викликані обривами стрижнів ротора двигуна. На рис. 5 представлено вигляд цих функцій для кожної з ЕРС Сумарна ЕРС обмотки статора розраховується за виразом:

$$e_{\Sigma} = e_1(t) + e_2(t) + e_3(t).$$

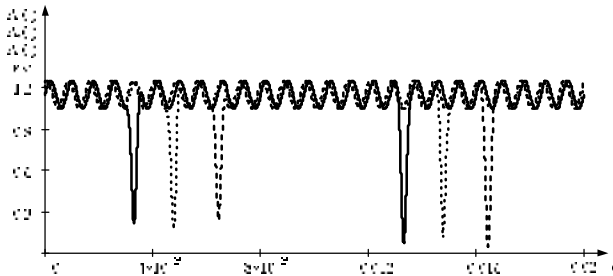


Рисунок 5 – Синусоїда, що враховує зубчасту поверхню ротора та функцію накладеного збурення

Змодельований сигнал ЕРС однієї фази з накладеним штучно збуренням має наступний вигляд (рис. 6), а результати його вейвлет-аналізу представлено на рис. 7.

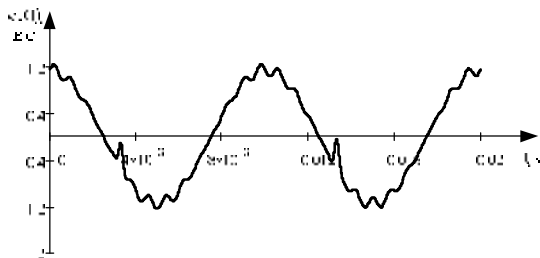


Рисунок 6 – Сигнал ЕРС зі штучно накладеним збуренням

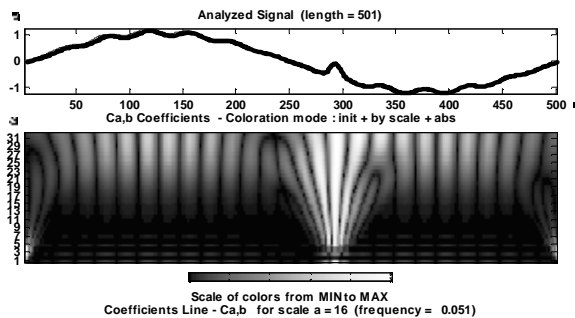


Рисунок 7 – Змодельований сигнал ЕРС однієї фази та його вейвлетний Морле-спектр

У даному випадку вейвлет-спектр побудований при менших значеннях масштабу для виділення високочастотної складової сигналу. У місці збурення можна спостерігати збільшення значення вейвлет-коефіцієнтів та викривлення їх форми. Однак необхідно враховувати, що значення вейвлет-коефіцієнтів залежить і від значної надмірності самого вейвлет-спектру [14].

Далі здійснювався вейвлет-аналіз сумарної ЕРС обмотки статора (рис. 8). Вейвлет-аналіз сигналу приведено на рис. 9.

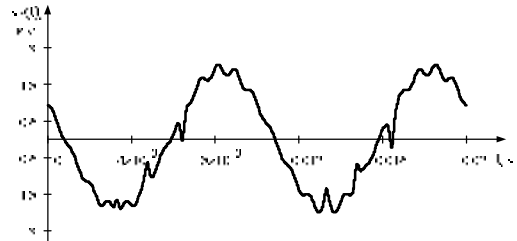


Рисунок 8 – Сумарна ЕРС обмотки статора з накладеним штучно збуренням

Як видно з отриманих результатів, вейвлет-спектр сумарної ЕРС обмотки містить інформацію про наявність збурень у сигналах ЕРС усіх трьох фаз двигуна.

Наступний сигнал, який підлягає вейвлет-аналізу, це сигнал, найбільш наближений до реального сигналу ЕРС, – синусоїда з експоненційно загасаючою амплітудою та частотою, модульована загасаючими високочастотними коливаннями зі штучно накладеним збуренням.

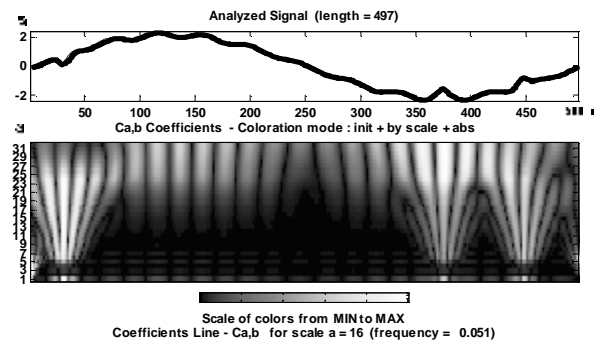


Рисунок 9 – Сигнал сумарної ЕРС та його вейвлетний Морле-спектр

На рис. 10 представлено кілька періодів аналізованого сигналу, на рис. 11-13 виконано його вейвлет-аналіз при різних значеннях масштабу вейвлету Морле.

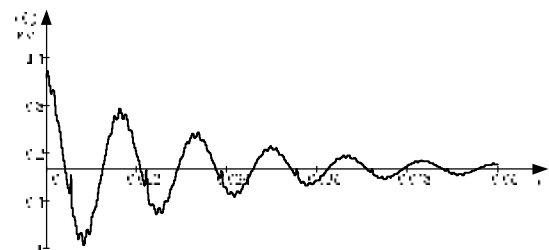


Рисунок 10 – Синусоїда з експоненційно загасаючою амплітудою та частотою, модульована загасаючими високочастотними коливаннями зі штучно накладеним збуренням

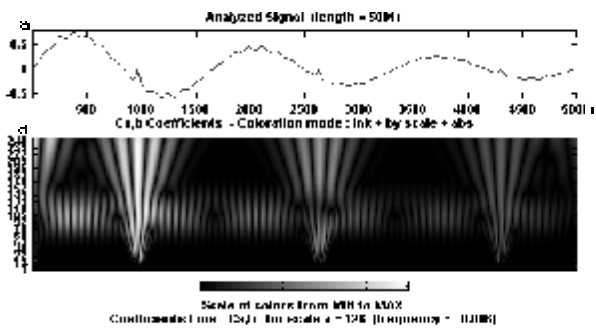


Рисунок 11 – Сигнал синусоїди з експоненційно загасаючою амплітудою й частотою та його вейвлетний Морле-спектр при масштабному коефіцієнті  $a = 256$

З отриманих результатів можна зробити висновок, що загасаючий характер синусоїди відображається на вейвлет-спектрі лише при великих значеннях масштабу, а тому не здійснює ніякого впливу на виявлення збурень, оскільки останні проявляються при малих значеннях масштабу (рис. 13).

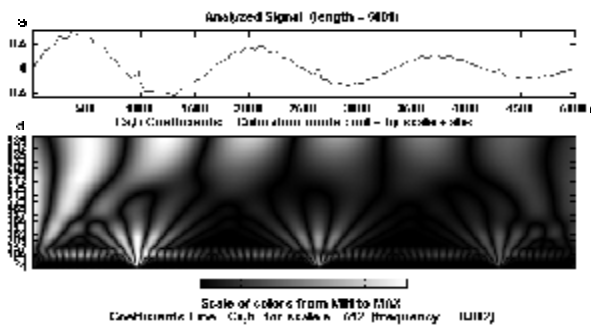


Рисунок 12 – Сигнал синусоїди з експоненційно загасаючою амплітудою й частотою та його вейвлетний Морле-спектр при масштабному коефіцієнті  $a = 1024$

У ході проведених досліджень щодо вибору вейвлет-функції для НВП діагностичного сигналу було встановлено, що для аналізу коливальних сигналів, які мають вигляд синусоїди, можна використовувати вейвлет Морле. Оскільки результати ВП для змодельованих сигналів ЕРС зі штучно накладеними збуреннями дозволяють локалізувати місце наявного штучного дефекту, то є доцільним використовувати даний вейвлет і для аналізу діагностичного сигналу.

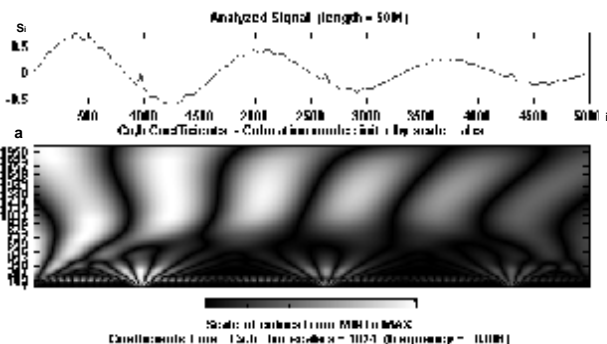


Рисунок 13 – Сигнал експоненційно згасаючої синусоїди та його вейвлетний Морле-спектр при максимальному масштабному коефіцієнті  $a = 2048$

**Висновки.** В роботі обгрунтовано використання вейвлету Морле для визначення пошкоджень обмоток роторів асинхронних двигунів за аналізом реального сигналу ЕРС фази обмотки статора та змодельованого сигналу ЕРС зі штучно накладеними збуреннями для імітації пошкодження.

Вейвлет-аналіз вказаних сигналів дозволяє дослідити як низькочастотні складові сигналів, так і високочастотні. Останні містять інформацію про зубцеві гармоніки поля та про пошкодження обмоток ротора двигуна.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Полковниченко Д. В. Совершенствование диагностики обмоток короткозамкнутых асинхронных двигателей на основе контроля параметров рабочего режима: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук / Полковниченко Д. В. – Донецк, 2003. – 20 с.
2. Калінов А. П. Класифікація методів діагностики пошкоджень обмоток ротора асинхронних двигунів / А. П. Калінов, Ж. І. Ухань // Вісник КДУ. Наукові праці КДУ. - Вип. 3(62), ч. 2. – Кременчук: КДУ імені Михайла Остроградського, 2010. – С. 138-144.
3. Петухов В. С. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока / Петухов В. С., Соколов В. А. // Новости электротехники, 2005. – № 1(31). – С. 50–52.
4. M. E. H. Benbouzid, M. Vieira, C. Theys. Induction motor's faults detection and localization using stator current advanced signal processing techniques / IEEE Transactions on power electronics. - 1999. – № 1. – P. 14 – 22.
5. W. T. Thomson, M. Fenger. Current signature analysis to detect induction motor faults / IEEE Industry Application Magazine. Vol 7, No 4, July/August, 2001, P. 26 – 34.
6. Петухов В. Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения / Петухов В. // Новости электротехники, 2008. – №4(52). – Режим доступа к журн.: <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/49/10.php>.
7. Neelam Mehala, Ratna Dahiya. Motor current signature analysis and its applications in induction motor fault diagnosis. International journal of systems applications, engineering & development. - 2007. – № 1. – P. 29 – 35.
8. Marques Cardoso, A.J. Inter-Turn. Stator Winding Fault Diagnosis in Three-Phase Induction Motors, by Park's Vector Approach/ A.J. Marques Cardoso, S.M.A.Cruz, D.S.B.Fonseca // IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 14. – № 3, 1999. – P. 25 – 32.
9. W. T. Thomson. A review of on-line condition monitoring techniques for three-phase – squirrel cage induction motors – past present and future. In Proc SDEMPED. – 1999. – P. 3 – 18.
10. Zhongming Ye, Bin Wu, Alireza Sadeghian. Current Signature Analysis of Induction Motor Mechanical Faults by Wavelet Packet Decomposition // IEEE transactions on industrial electronics, Vol. 50. – № 6, 2003. – P. 1217-1228.

11. Левкович-Маслюк Л Введение в вейвлет-анализ: Учебный курс / Л. Левкович-Маслюк, А. Переберин. – Москва: ГрафиКон’99, 1999.

12. Новиков Л. В. Основы вейвлет-анализа сигналов: Учебное пособие. – СПб, ИАНП РАН, 1999. – 152 с.

13. Смоленцев Н. К. Вейвлеты в MATLAB / Смоленцев Н. К. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.

14. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения / Астафьева Н. М. // – Успехи физических наук. – 1996. – Т.166. – № 11. – С. 1145-1170.

15. Polikar R. Введение в вейвлет-преобразование/ Пер. Грибунина В. Г. – СПб: АВТЭКС. - <http://www.autex.spb.ru>.

16. Дремин И. Л. и др. Вейвлеты и их использование. / Дремин И. Л. и др. // Успехи физических наук, 2001. – Т.171. – № 5. – С. 465-501.

17. Козлов П. В. Вейвлет-преобразование и анализ временных рядов / П. В. Козлов, Б. Б. Чен // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета, 2002. – № 2.

18. Калинов А. П. Метод диагностики повреждений стержней ротора / Калинов А. П., Ухань Ж. И., Урдин I. В. // Вісник КДПУ. Наукові праці КДПУ. - Вип. 4 (57), – ч.1. – Кременчук: КДПУ імені Михайла Остроградського, 2009. – С. 98-101.

19. Gouplard P., Grossman A., Morlet J. Cycle-Octave and Related Transforms in Seismic Signal Analysis // Geopxploration, 1984. Vol. 23.

20. Шитов В. В. Непрерывный вейвлет-анализ фрактальной структуры в обобщенных стохастических процессах / В. В. Шитов, П. В. Москалев. // Сборник Воронежской государственной технологической академии. Инженерная физика, 2003. – № 2.

Стаття надійшла 05.12.2010 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Чорним О.П.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОБРЫВОВ СТЕРЖНЕЙ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Ромашихина Ж.И., асп., Калинов А.П., к.т.н., доц.*

*Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского*

*ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина*

*E-mail: romashihina\_zhanna@mail.ru, scenter@kdu.edu.ua*

Теоретически обоснованы основные преимущества анализа сигналов с помощью вейвлет-преобразования над спектральным анализом сигналов с использованием аппарата Фурье, проанализирован ряд исследуемых сигналов в соответствии с основными факторами, которыми определяется выбор материнского вейвлета, установлено, что для анализа диагностических сигналов целесообразно использовать вейвлет Морле.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, обрыв стержней ротора, электродвижущая сила, вейвлет-преобразование, вейвлет Морле.

## USING OF THE WAVELET-ANALYSIS FOR DIAGNOSIS OF THE ROTOR BARS DAMAGES OF THE INDUCTION MOTORS

*Romashihina Zh., post-grad., Kalinov A., Cand.of Sc.(Tech.), Assoc.Prof.*

*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*

*vul. Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine*

*E-mail: romashihina\_zhanna@mail.ru, scenter@kdu.edu.ua*

The paper grounded analysis of the main advantages of signals using the wavelet transform of the spectral analysis of signals using the apparatus of Fourier transformation, analyzed a number of the signals in accordance, with the basic factors that determine the choice of the mother wavelet, is shown, that for the analysis of diagnostic signals appropriate to use the Morlet wavelet.

**Key words:** inductions motor, of rotor bars damages, electromotive force, wavelet-transformation, Morlet wavelet.