

УДК 622.012.2:621.316

В.П. Тарасюк (канд. техн. наук, доц.), Р.Н. Ахмедов
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Красноармійськ
кафедра електронної техніки
E-mail: vita_post@mail.ru, raminakhmedov39@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ВИСОКОЧАСТОТНОЇ Е.Р.С. ВІДКЛЮЧЕНОЇ ОБМОТКИ СТАТОРА ДВОШВИДКІСНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

В роботі проаналізована можливість використання математичного апарату вейвлет перетворення для обробки високочастотних полігармонічних сигналів, а саме – е.р.с. відключеної обмотки статора двошвидкісного асинхронного двигуна; проведено обробку сигналу з застосуванням одно- та двократного вейвлет перетворень; синтезовано банк фільтрів вейвлет перетворення для обробки заданого сигналу з використанням ППП Mathcad. Отримано достатньо вузьку АЧХ банку фільтрів, що забезпечує смугу пропускання на рівні $\pm 0,23$ Гц від промислової частоти 50 Гц.

Ключові слова: сигнал, е.р.с., частота, вейвлет перетворення, банк фільтрів.

Загальна постановка проблеми. Перспективним напрямом в галузі створення шахтних скребкових конвеєрів є застосування двошвидкісних асинхронних двигунів (АД). Вони мають на одному магнітопроводі дві трифазні статорні обмотки (у кожній – з'єднання за схемою «зірка») з чотирма та дванадцятью полюсами і дозволяють отримувати синхронні кутові швидкості ротора, відповідно, 1500 об/хв і 500 об/хв. Це суттєво сприяє підвищенню безпеки експлуатації конвеєра: пуск конвеєра з короткочасним ступенем зменшеної (у 3 рази) швидкості тягового органу; допоміжні операції із доставки обладнання та матеріалів в очисний вибій з меншою швидкістю.

Підвищення частоти трансформаторних е.р.с. обумовлює суттєве зменшення ємнісних опорів ізоляції кабелів, які підключені до відповідних обмоток статора, з урахуванням величин трансформаторних е.р.с. та при умові дотику людини до токопровідних частин і кабелю відключеної обмотки статора двошвидкісного асинхронного двигуна. Ця особливість утворює небезпеку електроураження [1]. Існуючі системи не в змозі забезпечити необхідну швидкодію під час захисного відключення, тому доцільним є розробка нових підходів до вирішення задачі захисту від електроураження, а саме контроль частоти е.р.с. вимкненої обмотки статора, що запобігає виникненню небезпеки електроураження та відкидає необхідність відключення мережі.

Сигнал е.р.с. відключеної обмотки статора двошвидкісного асинхронного двигуна (див. рис. 1) являє собою полігармонічний частотно модульований сигнал з неперервним спектром[1].

Проблема полягає у приведенні сигналу до промислової частоти 50 Гц, шляхом обробки та фільтрування високочастотних складових, які зменшують ємнісний опір ізоляції кабелю $X_c(f)$ (див. рис. 2) [7].

Експлуатація двошвидкісного АД в умовах шахтної ділянки відрізняється певними особливостями, які необхідно враховувати з метою забезпечення безпеки персоналу від електроураження. Зокрема, наявність двох відокремлених обмоток на одному магнітопроводі створює трансформаторний ефект при включенні однієї з обмоток, що може призвести до виникнення такого небезпечного стану, як електроураження людини в разі торкання фази відключеної обмотки статора.

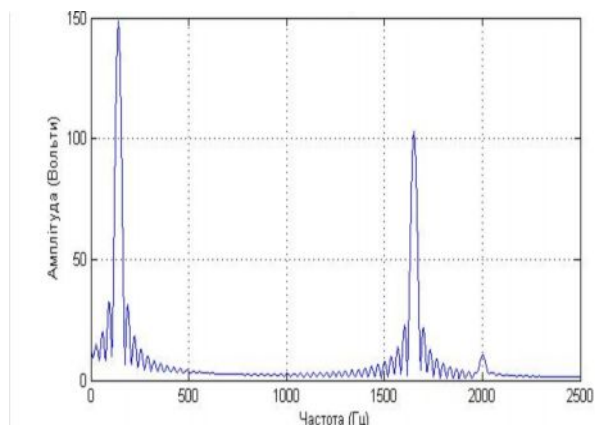


Рисунок 1 – Сигнал, що досліджується

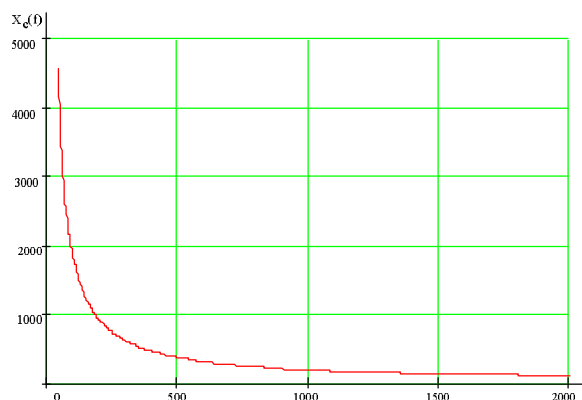


Рисунок 2 – Зменшення ємнісного опору ізоляції кабелю з підвищенням частоти

Цей вид небезпеки має місце, незважаючи на наявність в шахтній дільничній електромережі засобів захисту від витоків струму на землю, оскільки дія цих засобів не розповсюджується на контроль стану відключеної обмотки статора двошвидкісного двигуна через відсутність електричного зв'язку між обмотками його статора (див. рис. 3). Отже, актуальним є визначення рівня небезпеки електроураження людини від трансформаторної е.р.с. відключеної обмотки статора двошвидкісного АД.

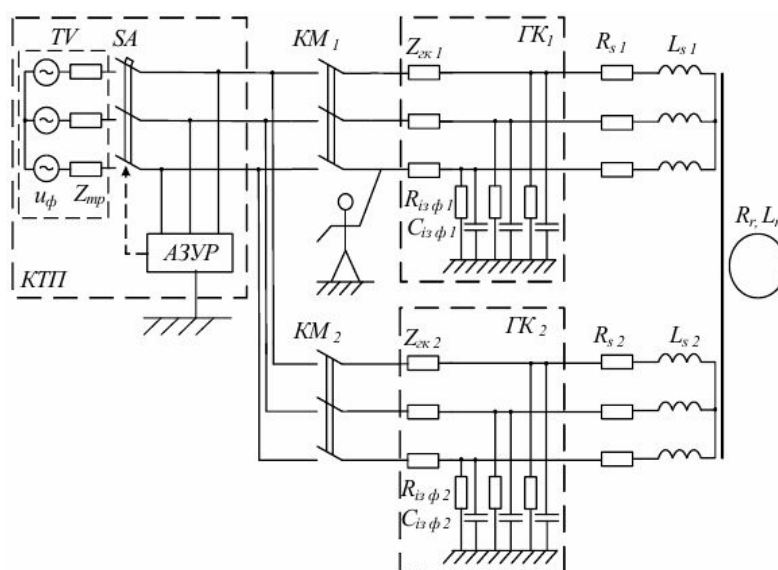


Рисунок 3 – Утворення витoku струму на землю в приєднанні статора двошвидкісного АД

Аналіз існуючих досліджень. Існуючі рішення даної проблеми зводяться до апаратних засобів захисного відключення мережі у разі виникнення електроураження [1]. Принцип роботи таких приладів полягає у відключенні мережі при виникненні ситуації електроураження за відведений проміжок часу. Однак апаратні засоби не завжди в змозі забезпечити необхідну швидкість захисного відключення, а саме 0,02 с, що ставить під сумнів їх ефективність. Проведенні дослідження у галузі математичної та електронної обробки сигналу дають можливість синтезу та застосування апаратних рішень перетворення частоти сигналу ЕРС відключеної обмотки статора двошвидкісного асинхронного двигуна, запобігаючи тим самим виникненню електронезбезпечної ситуації.

Постановка задач досліджень. Метою роботи є дослідження можливості перетворення сигналу високочастотної е.р.с. відключеної обмотки статора із застосуванням методів на базі вейвлет перетворення для запезпечення захисту від електроураження.

Для досягнення мети поставлені та вирішені наступні задачі:

- дослідити можливість обробки сигналу з застосуванням однократного та двократного вейвлет перетворення;
- синтезувати банк фільтрів вейвлет перетворення на основі отриманих даних;
- оцінити результати досліджень та підтвердити доцільність використання обраної моделі обробки сигналу.

Результати розробки та досліджень. Одним з методів обробки сигналів є вейвлет перетворення сигналу, що використовується під час програмної обробки сигналу, тобто під час побудови алгоритмів обробки сигналів на базі мікропроцесорів та мікроконтролерів. Вейвлет перетворення та синтез банку фільтрів вейвлет перетворення проводиться на основі вейвлетутворюючої функції Добеши, що задається кратнo-масштабним рівнянням виду [2]:

$$\omega(t) \equiv d_0\omega(2t) + d_1\omega(2t-1) + d_2\omega(2t-2) + \dots + d_N\omega(2t-N), \quad (1)$$

На масштабуючу функцію $\omega(t)$ накладають додаткові умови, такі як умова нормованості (2) та умова ортогональності (3):

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\omega(t)|^2 dt = 1; \quad (2)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \omega(2t-j)\omega(2t-k)dt = 0, \quad j \neq k. \quad (3)$$

Знаходження функції $\omega(t)$ з умов (2) – (3) являє собою вельми складну задачу. Основним засобом для вирішення задачі є використання перетворення Фур'є рівняння (2). Це призводить до представлення образу Фур'є функції $\omega(t)$ у вигляді безкінечного множення, звідки можливо витягти її значення в двійкових точках дійсної вісі, тобто в точках, що являються звичайними дробами зі знаменником 2^s , де s – ціле число [2, 4].

Mathcad має вбудовану функцію для розрахунку вейвлет перетворення на основі вейвлетутворюючої функції Добеши – $wave(y)$, де y – вектор даних, що взяті через рівні проміжки значень аргументу [3]. Аргумент функції вейвлет перетворення має, так само як і в перетворенні Фур'є, дорівнювати 2^N , $N \in Z$ елементів. Вейвлет Добеши було обрано з міркувань практичної реалізації обраного методу. Більшість DSP мікроконтролерів вже мають вбудовані функції роботи з вейвлет перетворенням на базі вейвлету Добеши.

Результатом функції $wave(y)$ є вектор, скомпонований з декількох коефіцієнтів від двухпараметричного вейвлет-спектру. Було обрано коефіцієнти, що відповідають вейвлетутворюючій функції сьомого ступеня.

Для реалізації вейвлет перетворення сигналу, що досліджується був вибраний відрізок з 256 дискретних значень сигналу. Лістинг програми приведений на рисунку 4, а. Моделювання було проведено для ступенів вейвлету з нульового до сьомого. Результатом є матриця коефіцієнтів вейвлет перетворення розміром [8x256] (див. рис.4,б).

Відновлення сигналу виконано функцією сьомого ступеня згідно з виразом (4).

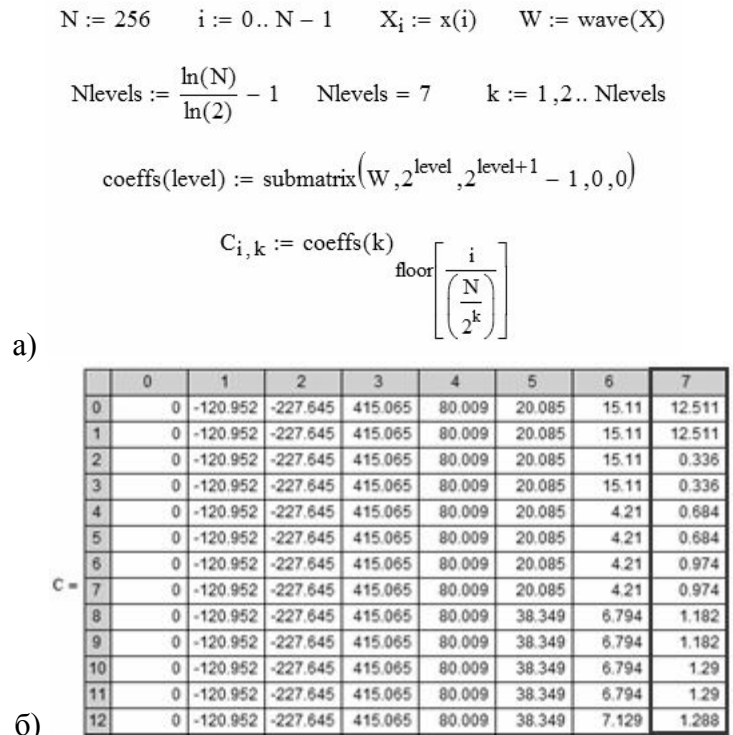


Рисунок 4 – Лістинг програми моделювання вейвлет-перетворення в ППП Matcad (а) та матриця коефіцієнтів вейвлет перетворення (б)

$$S_i = K_\varphi \sum_{m=1}^L \sum_{n=0}^{2^L} C_{m,n} \varphi_{m,n}(i). \tag{4}$$

Розподіл коефіцієнтів вейвлетоутворюючої функції сьомого ступеня показано на рисунку 5. Коефіцієнти розподілені за гармонічним законом, однак відновлення сигналу за отриманими коефіцієнтами не дає необхідного результату (див. рис. 6).

Отриманий сигнал (див. рис. 5), так само як і сигнал, що досліджується (див. рис. 1), має аперіодичний характер, не дивлячись на періодичний характер розподілу коефіцієнтів вейвлет перетворення. Крім того у сигналі з'явилася постійна складова (позначено на рис. 6). Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що однократного перетворення недостатньо для вирішення поставленої проблеми.

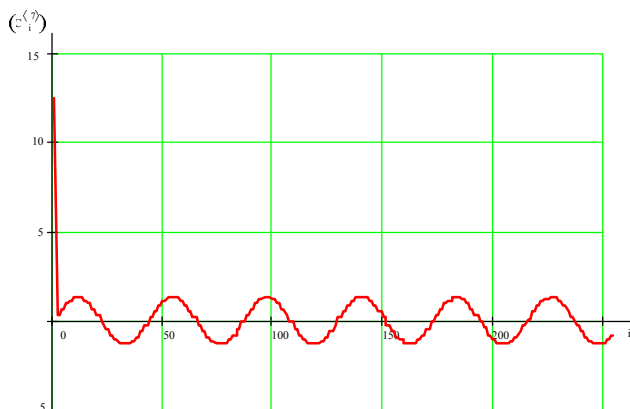


Рисунок 5 – Розподіл коефіцієнтів вейвлет перетворення сьомого ступеня

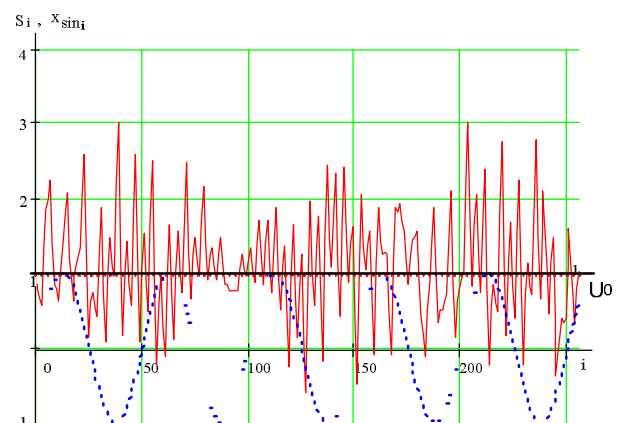


Рисунок 6 – Відновлення сигналу функцією сьомого ступеня та необхідний сигнал (пунктир)

При виконанні двократного перетворення у якості сигналу, що перетворюється було взято сигнал отриманий під час однократного вейвлет перетворення. Перетворення та відновлення сигналу виконувалось із застосуванням функції шостого ступеня, оскільки функції вищих ступенів дають аналогічні результати [2]. Розподіл коефіцієнтів вейвлет перетворення також носить гармонічний характер (див. рис. 7). Під час відновлення сигналу було отримано більш стабільний, але все ще аперіодичний сигнал високої частоти (див. рис. 8). Отже ні однократне, ні двократне вейвлет перетворення не здатні вирішити поставлену задачу. В такому разі доцільним є використання більш складних вейвлет методів, а саме використання банку фільтрів вейвлет перетворення.

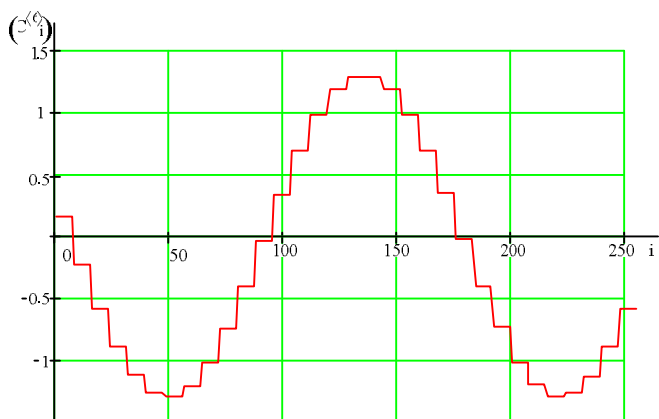


Рисунок 7 – Розподіл коефіцієнтів двократного вейвлет перетворення

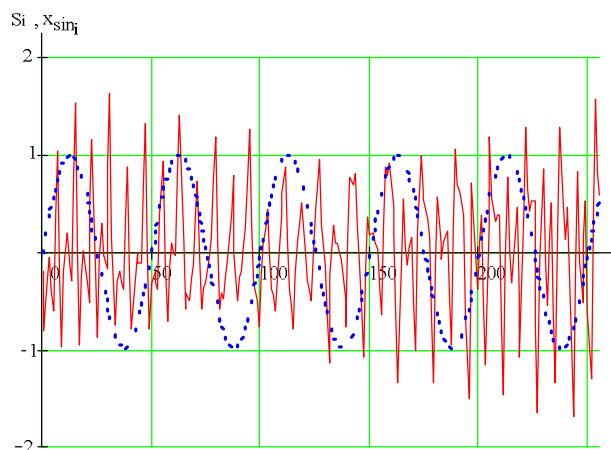


Рисунок 8 – Відновлення сигналу отриманого функцією шостого ступеня та необхідний сигнал (пунктир)

Структурна схема на рисунку 9 являє собою 2-х каналний банк фільтрів вейвлет перетворення. Основна відмінність банку фільтрів вейвлет перетворення від звичайного вейвлет перетворення – коефіцієнти масштабуючої функції перераховуються на кожній ітерації. Банк фільтрів аналізу розділяє вхідний сигнал X на два за допомогою фільтрів аналізу з імпульсними характеристиками H_0 та H_1 . Після фільтрів кожен другий відлік сигналу відкидається. В обох каналах блоку синтезу після кожного вхідного відліку вставляється нульовий відлік, далі ці сингали поступають на фільтри синтезу F_0 та F_1 й додаються.

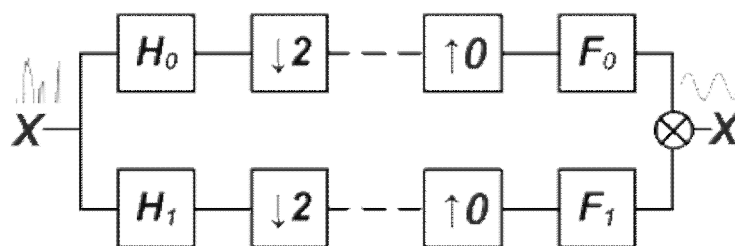


Рисунок 9 – Структурна схема банку фільтрів вейвлет перетворення

Задача полягає в знаходженні таких фільтрів, щоб двоканальний фільтр на виході відновлював сигнал X абсолютно точно. Точне відновлення має місце при виконанні наступних двох рівнянь (5, 6)[5]:

$$F(z)_0 H(z)_0 + F(z)_1 H(z)_1 = 2z^{-N}; \quad (5)$$

$$F(z)_0 H(-z)_0 + F(z)_1 H(-z)_1 = 0, \quad (6)$$

де $H(z)_0, H(z)_1$ та $F(z)_0, F(z)_1$ – z -перетворення імпульсної характеристики фільтрів аналізу та синтезу.

Імпульсні характеристики фільтрів аналізу та синтезу було знайдено у вигляді (7) – (10).

$$H(z)_0 = \sum_{k=0}^N h(k)z^{-k}; \quad (7)$$

$$H(z)_1 = \sum_{k=0}^N (-1)^k h(N-k)z^{-k}; \quad (8)$$

$$F(z)_0 = H(-z)_0 = \sum_{k=0}^N h(N-k)z^{-k}; \quad (9)$$

$$F(z)_1 = -H(-z)_1 = \sum_{k=0}^N (-1)^{k+1} h(k)z^{-k}. \quad (10)$$

Імпульсна характеристика синтезованого банку фільтрів показана на рисунку 10. АЧХ каналів фільтру наведені на рисунку 11. Як видно, нижній та верхній канали працюють у протифазі. Оскільки нижній канал подавляє необхідну частоту 50 Гц (314 рад/с), то надалі розглядається лише верхній канал.

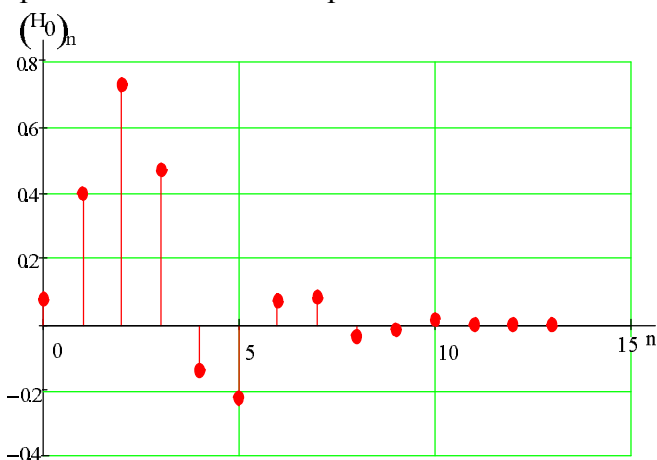


Рисунок 10 – Імпульсна характеристика синтезованого фільтру

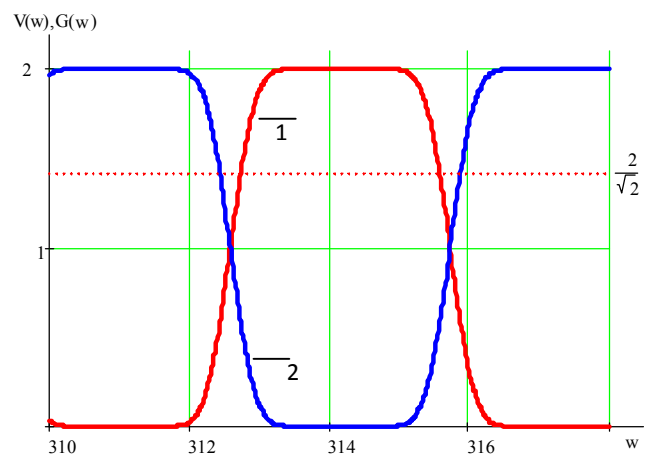


Рисунок 11 – АЧХ верхнього (1) та нижнього каналів фільтру (2)

Смуга пропускання верхнього каналу була встановлена на рівні $\sqrt{2}$ від максимального значення коефіцієнта передачі та лежить у межах від $f_1 = 49,77$ Гц до $f_2 = 50,23$ Гц. Банк фільтрів не вносить фазового зсуву, що показано на ФЧХ (див. рис. 12). При цьому зміна кількості нулів p не виявляє особливого впливу на смугу пропускання каналу. Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що використання банку фільтрів вейвлет перетворення отримано фільтр з достатньо вузькою та стабільною смугою пропускання, що дозволяє ефективно вирішити задачу перетворення сигналу та фільтрації високих частот.

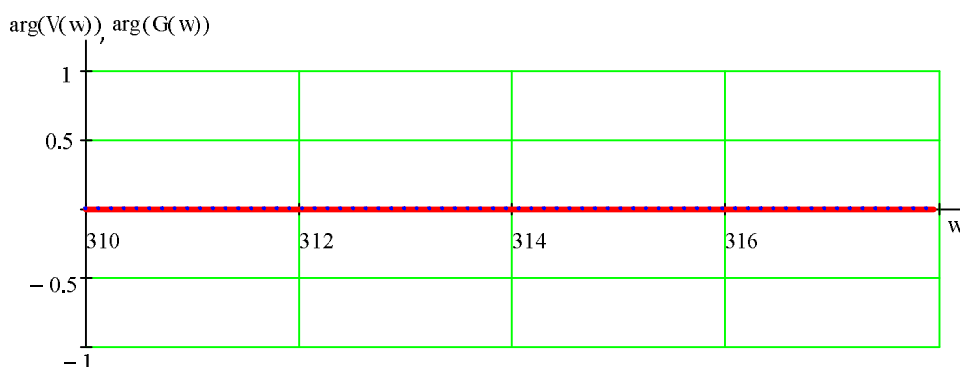


Рисунок 12 – ФЧХ верхнього та нижнього каналів фільтру

Модель фільтру відповідає вимогам ДСТУ 13109-97, де нестабільність частоти фіксується в межах $\pm 0,4$ Гц при номінальній частоті 50 Гц, а максимальне відхилення частоти отриманої моделі фільтру складає $\pm 0,23$ Гц. Це дає можливість отримати на виході достатньо стабільний сигнал необхідної частоти, а саме 50 Гц.

Висновки.

1. Наведено результати обробки сигналу із застосуванням одно- та двократного вейвлет перетворення, з яких ясно, що для вирішення поставленої задачі необхідно використовувати більш складні методи обробки. Досліджено наявність аперіодичного характеру сигналу та постійної складової, що з'явилась в результаті відновлення сигналу.

2. Наведено результати синтезу банку фільтрів вейвлет перетворення, які показали що використовуючи даний метод можливо ефективно відфільтрувати високочастотні складові сигналу. Проведено аналіз отриманих результатів, який показав, що банк фільтрів вейвлет перетворення дозволяє вирішити поставлену задачу, а саме отримати достатньо стабільний сигнал з частотою $(50 \pm 0,23)$ Гц.

3. Напрямок подальших досліджень є вивчення можливостей практичної реалізації обробки сигналу е.р.с. відключеної обмотки статора двошвидкісного асинхронного двигуна із застосуванням банку фільтрів вейвлет перетворення.

Список використаної літератури

1. Маренич К.М. Автоматичний захист електроустаткування шахт від аварійних станів та небезпек / К.М. Маренич, І.В. Ковальова. – Донецьк : ДонНТУ, 2013. – 198 с.
2. Демьянович Ю.К. Введение в теорию вейвлетов/ Ю.К. Демьянович, В.А. Ходаковский. – СПб: ПГУПС, 2007. – 49 с.
3. Гурский Д. Вычисления в Mathcad / Д. Гурский, Е. Турбина – СПб: Питер, 2006. – 544 с.
4. Образовательный математический сайт [Электронный ресурс]: Королева М.Г. Ортогональные вейвлеты Добеши / М.Г. Королева. – Режим доступа: <http://www.exponenta.ru/educat/referat/XIVkonkurs/25/index.asp>. – Дата доступа: март 2015. – Загл. с экрана.
5. Цифровая обработка сигналов. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: курс лекций / А.С. Глинченко. – Электронные данные (3 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – Режим доступа: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/50/u_lectures.pdf. – Дата доступа: март 2015. – Загл. с экрана.
6. Методичні вказівки до виконання лабораторних та розрахунково-графічної робіт з курсів «Теорія сигналів» і «Методи перетворення та відновлення сигналів» (для студентів напрямків підготовки 6.051003 «Приладобудування», 6.050802 «Електронні пристрої і системи») / О.В. Вовна, М.Г. Хламов. – Донецьк: ДонНТУ, 2011. – 46 с.
7. Ахмедов Р.Н. Обоснование актуальности контроля параметров напряжения отключенной

- обмотки статора двухскоростного асинхронного двигателя / Р.Н. Ахмедов, В.П. Тарасюк // Материалы международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех 2014» – Ухта: УГТУ, 2014. – С 101 – 104.
8. Дзюбан В.С. Справочник энергетика угольной шахты / В.С. Дзюбан, Я.С. Римап, А.К. Маслий. – Москва : Недра, 1983. – 270 с.
 9. Колосюк В.П. Техника безопасности при эксплуатации рудничных электроустановок / В.П. Колосюк. – М.: Недра, 1987. – 140 с.
 10. Ягудаев Б.М. Защита от электропоражения в горной промышленности / Б.М. Ягудаев, Н.Ф. Шишкин, В.В. Назаров. – М., Недра, 1982. – 152 с.

References

1. Marenich, K.M. and Kovaliova, I.V. (2013), "Avtomaticnij zahist elektroustatkuvannja shaht vid avarijnih staniv ta nebezpek" [Automatic protection against electric mines disrepair and hazards], DonNTU, Donetsk, Ukraine.
2. Demianovich, V.A. and Hodakovskiy, V.A. (2007), "Vvedenie v teoriju vejvletov" [Introduction to the theory of wavelets], PGUPS, St. Petersburg, Russia.
3. Gyrskiy D. and Turbina E. (2006), "Vychislenija v Mathcad" [The calculations in Mathcad], St. Petersburg, Russia.
4. Exponenta (2015), Koroleva M.G. "Orthogonal wavelets Daubechies", aviable at: <http://www.exponenta.ru/educat/referat/XIVkonkurs/25/index.asp> (Accesed 15 March 2015).
5. Glinchenko, A.S. (2008) "Digital signal processing", aviable at: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/50/u_lectures.pdf. (Accesed 20 March 2015).
6. Vovna, O.V. and Khlamov, M.G. (2011), "Metodichni vказivki do vikonannja laboratornih ta rozrahunkovo-grafichnoї robit z kursiv «Teorija signaliv» i «Metodi peretvorennja ta vidnovlennja signaliv» (dlja studentiv naprjamkiv pidgotovki 6.051003 «Priladobuduvannja», 6.050802 «Elektronni pristroi i sistemi»)» [Guidance for laboratory and settlement and graphic works for "Signal Theory" and "Methods of transformation and renewal signals" (for the areas of training 6.051003 "Instrument" 6.050802 "Electronic devices and systems")], DVNZ DonNTU, Donetsk, Ukraine.
7. Akhmedov, R.N. and Tarasyuk, V.P. (2014). "Justification of the relevance of monitoring voltage parameters disabled stator winding two-speed induction motor", *Mezhdunarodnaja molo-dezhnaja nauchnaja konferencija «Severgeojekotech 2014»* [International Youth Scientific Conference "Severgeocotech 2014"], Uhta, January, pp. 101-104.
8. Dzuybanm, V.S., Riman, Y.S. and Masliy, A.K. (1983), "Spravochnik energetika ugol'noj shahty" [Directory of Energy coal mine], Moscow, Russia.
9. Kolosok, V.P. (1987), "Tehnika bezopasnosti pri ekspluatácii rudnichnyh jelektroustanovok" [Operational Safety mine electrical], Nedra, Moscow, Russia.
10. Yagudaev B.M., Shishkin N.F. and Nazarov V.V. (1982), "Zashhita ot elektroporazhenija v gornoj promyshlennosti" [Protection against electrocution in the mining industry], Nedra, Moscow, Russia.

Надійшла до редакції:
30.03.2015

Рецензент:
д-р.техн. наук, проф. С.В. Подкопаєв

В.П. Тарасюк, Р.Н. Ахмедов

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Преобразование высокочастотной э.д.с. отключенной обмотки статора двухскоростного асинхронного двигателя с использованием вейвлет преобразования. В работе проанализирована возможность использования математического аппарата вейвлет преобразования для обработки высокочастотных полигармонических сигналов, а именно – э.д.с. отклю-

ченної обмотки статора двухскоростного асинхронного двигателя; проведена обробка сигналу з використанням одно- і двукратного вейвлет перетворень; синтезовано банк фільтрів вейвлет перетворення для обробки заданого сигналу з використанням ППП Mathcad. Отримано достатньо узкою АЧХ банку фільтрів, котра забезпечує полосу пропускання на рівні $\pm 0,23$ Гц від промислової частоти 50 Гц.

Ключевые слова: сигнал, э.д.с., частота, вейвлет преобразование, банк фильтров.

V.P. Tarasyuk, R.N Akhmedov

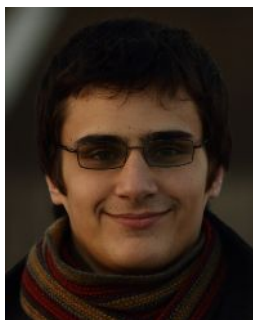
Donetsk National Technical University

The conversion of high-frequency e.m.f. disabled stator winding two-speed induction motor using wavelet transform. For calculations related to ensuring protection from electric shock, given the humidity, the presence of conductive dust, increased sweating, and other factors described above, in terms of mine taking the lower limit of the human body resistance = 1000 Ohm. Rules manufacture explosion-proof electrical equipment and mine normalized value of maximum safe current long flat $I_b = 30$ mA. It should be noted that "Safety in coal and shale mines" does not set the value of safe voltage and current contact, but normalized protection against leakage currents and touch with live parts with automatic disconnection of the damaged network with a total time off when a voltage of 660 V is not more than 0.2 sec., at a voltage of 1200 V - 0.12 sec. If we compare this claim to Table 1.1, then the $R = 1000$ ohms and $t = 0.2$ sec. safe current value will I_b current = 250 mA and voltage touch $U = 250$ V. Thus, in the mine, in networks using devices of protection against leakage current, a current of 30 mA maximum exposure duration 0.2 sec. can be considered safe for humans. The amount of current flowing through the human body when you touch it with live parts, depends not only on the human body resistance and insulation resistance, but also on neutral mode electric network. In the work we analyzed the possibility of using mathematical tools of wavelet transformation for processing high poliharmonichnyh signals - namely e.m.f. disconnected stator winding two-speed induction motor; signal processing is carried out with the use of single and double wavelet transformation; synthesized wavelet transform filter bank for processing a given signal using Mathcad. Retrieved narrow enough response filter bank that provides Bandwidth at 0.23 Hz power frequency of 50 Hz.

Keywords: signal, e.m.f., frequency, wavelet transform, filter bank.



Тарасюк Вікторія Павлівна, Україна, закінчила Донецький національний технічний університет, канд. тех. наук. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, 85300, Україна). Основний напрям наукової діяльності – дослідження та розробка інтелектуальних систем вимірювання неелектричних величин різного напрямку.



Ахмедов Рамін Нізамійович, Україна, закінчив Донецький національний технічний університет, магістр, асистент кафедри електронної техніки. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, 85300, Україна). Основний напрям наукової діяльності – розробка та дослідження систем захисту від електроураження.