УДК 681.325.519.2

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ОРИЕНТИРОВАННОМ БАЗИСЕ

Т.А.Терещенко[1*], докт.техн.наук, **Т.А.Хижняк**[1], канд.техн.наук, **Л.Г.Лайкова**[1], **А.С.Пархоменко**[2]
[1] – **Национальный технический университет Украины "КПИ",**
пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина, e-mail: tatjana.khizhnjak@gmail.com
[2] – **ООО "АЙ ТИ ФЬЮЧЕ КОМПАНИ",**
ул. Межигорская, 37, Киев, 04071, Украина.

Предложен метод быстрого нахождения значений арифметических автокорреляционных функций (АКФ) с помощью преобразования в ориентированном базисе (ОБ) для исследования электрических цепей. Путем моделирования типовых форм сигналов найдены рекуррентные матричные формы, позволившие существенно упростить расчет арифметических АКФ. Выполнено сравнение трудоёмкости вычисления арифметической АКФ с использованием ОБ и с использованием традиционных преобразований – быстрого преобразования Фурье и преобразования Уолша. Библ. 6, рис. 2.
Ключевые слова: случайный процесс, автокорреляционная функция, преобразование Уолша, преобразование в ориентированном базисе.

Введение. Во многих задачах исследования процессов в цепях электрических устройств применяется анализ с помощью автокорреляционных функций (АКФ). Традиционно их вычисление осуществляется на основании преобразования Фурье или преобразования Уолша [1,3]. Необходимость выполнения анализа в реальном масштабе времени делает актуальной задачу уменьшения трудоемкости расчетов без потери информативности анализа, что ведет к расширению применения дискретных преобразований, оперирующих с интервалами определения, не кратными 2 [2,4,5].

Целью исследования является адаптация существующих формул расчета АКФ, используемых для анализа процессов в электрических цепях, для случая применения преобразования в ориентированном базисе (ОБ). Полученные формулы позволят расширить возможности анализа процессов в различных электротехнических объектах без увеличения его трудоемкости.

Автокорреляционная функция в ОБ. По быстродействию преобразование ОБ не уступает преобразованию Уолша, поскольку оперирует с целыми числами, но, в отличие от него может оперировать с интервалом, кратным не 2, а 3. Логическая автокорреляционная функция, определенная в базисе ОБ, имеет следующий вид:

$$P_x(\tau)=\frac{1}{N^2}\sum_{p=1}^{N}\sum_{t=0}^{N-1}x_p(\tau)x_p\left(t\underset{3}{\oplus}\tau\right), \qquad (1)$$

где $x_p(\tau)$ – одна из многих реализаций случайного процесса. Таким образом, логическая АКФ вычисляется как усреднение N разных АКФ $P_{ОБ}(\tau)$, рассчитанных в ОБ

$$P_{ОБ}(\tau)=\frac{1}{N}\sum_{p=1}^{N} x_p(\tau)x_p\left(t\underset{3}{\oplus}\tau\right). \qquad (2)$$

Необходимо отметить, что $P_{ОБ}(\tau)$ достаточно легко вычисляется в спектральной области ОБ преобразования с использованием быстрых алгоритмов. Для случая, если

$$x_p(\tau)=x(\tau+p),$$

логическая АКФ принимает следующий вид:

$$P_x(\tau)=\frac{1}{N^2}\sum_{p=1}^{N}\sum_{t=0}^{N-1}x_p(t+p)x_p\left(\left(t\underset{3}{\oplus}\tau\right)+p\right). \qquad (3)$$

По аналогии с формулой Гиббса для Уолша [6] определяется связь между арифметической корреляционной функцией и логической корреляционной функцией для ОБ

$$P_x(\tau)=\frac{1}{N}\sum_{t=0}^{N-1}R_x\left[\left(t\underset{3}{\oplus}\tau\right)\underset{3}{\theta}t\right]. \qquad (4)$$

Формула (3) может быть представлена в матричном виде

$$\vec{P}_x(\tau)=TD\vec{R}_x(\tau)\ , \qquad (5)$$

*ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-4009-2854/

где D – диагональная матрица весовых коэффициентов размерности $N\times N$; N – интервал определения исследуемой функции; T – матрица преобразования размерности $N\times N$.

Элементы матриц T и D получены путем расчета логической АКФ непосредственно по формулам (3) и (5). Для данных матриц были выведены следующие рекуррентные формулы:

$$T(0)=1,\quad E(0)=0,$$

$$T(\alpha)=\begin{pmatrix} T'(\alpha-1) & 0 & E(\alpha-1) \\ 0{,}5\cdot E(\alpha-1) & T'(\alpha-1) & 0 \\ 0 & 2\cdot E(\alpha-1) & T'(\alpha-1) \end{pmatrix}, \tag{6}$$

где $T'(\alpha)$ – диагональная матрица, образованная от матрицы $T(\alpha)$ (остальные элементы заменяются нулями).

Элементы матрицы $E(\alpha)$ находятся из выражения

$$E(\alpha)=\begin{pmatrix} 0 & 0 & E(\alpha-1) \\ 0{,}5\cdot E(\alpha-1) & 0{,}5\cdot T'(\alpha-1) & 0 \\ 0 & 2\cdot E(\alpha-1) & 2\cdot T'(\alpha-1) \end{pmatrix}. \tag{7}$$

Так, для случая α=2 матрицы приобретают следующий вид:

$$T(1)=\begin{pmatrix} T'(0) & 0 & E(0) \\ 0{,}5\cdot E(0) & T'(0) & 0 \\ 0 & 2\cdot E(0) & T'(0) \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};\; E(1)=\begin{pmatrix} 0 & 0 & E(0) \\ 0{,}5\cdot E(0) & 0{,}5\cdot T'(0) & 0 \\ 0 & 2\cdot E(0) & 2\cdot T'(0) \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0{,}5 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix};$$

$$T'(1)=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};\qquad T(2)=\begin{pmatrix} T'(1) & 0 & E(1) \\ 0{,}5\cdot E(1) & T'(1) & 0 \\ 0 & 2\cdot E(1) & T'(1) \end{pmatrix}.$$

Из формулы (4) можно найти арифметическую корреляционную функцию

$$\vec{R}_x(\tau)=T^{-1}D^{-1}\vec{P}_x(\tau). \tag{8}$$

Полученные рекуррентные выражения использованы для выявления неканонических гармоник в дискретной функции, являющейся суммой синусоидального и шумового сигналов в электрических цепях. Моделирование показало возможность вычислений с необходимой точностью, но с количеством АКФ вида (2) меньшим N. Для определения необходимого количества логических АКФ $P_{ОБ}(\tau)$ рассчитывается коэффициент подобия точной и приближенной АКФ. Точная АКФ для функции, содержащей 27 дискретных точек, определяется как сумма двадцати семи $P_{ОБ}(\tau)$, а приближенные варианты АКФ – как суммы девяти и пятнадцати $P_{ОБ}(\tau)$. Из зависимости коэффициента подобия от количества диадных АКФ (рис. 1) видно, что для исследуемой последовательности из 27 точек достаточно взять только 9 первых АКФ для получения необходимого коэффициента подобия. Далее при помощи матричных операторов связи (8) рассчитываются соответствующие арифметические АКФ. Сравнительный анализ трудоемкости расчетов арифметических АКФ с использованием разных преобразований (рис. 2) показал существенное преимущество преобразования ОБ для случая применения рекуррентных формул.

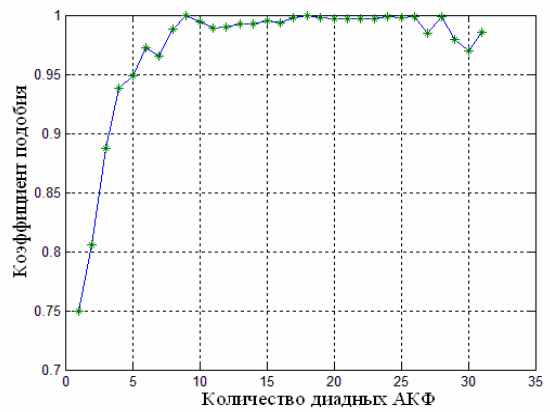

Рис. 1

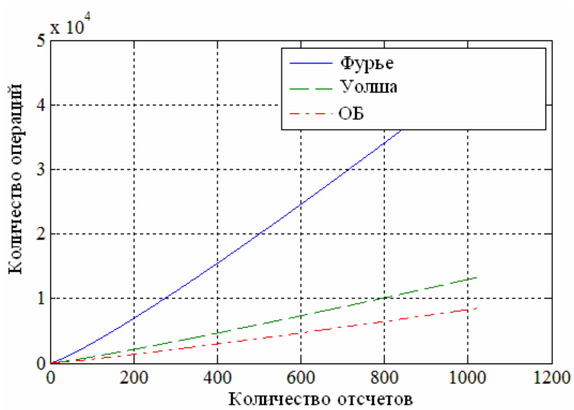

Рис. 2

Выводы. Предложенная адаптация расчета арифметических и логических АКФ для использования преобразования ОБ позволила выполнять анализ сигналов в электрических цепях на интервалах определения, не кратных 2. Полученные рекуррентные выражения обеспечили дополнительное уменьшение количества расчетных операций более, чем на 30% по сравнению с преобразованием Уолша.

1. *Дмитриев Э.А., Малахов В.П.* Применение преобразования Уолша в системах обработки диагностической информации о состоянии роторных машин // Праці Одеського політехн. ун-ту . – 2001. – Вип. 1. – С. 135–137.
2. *Петергеря Ю.С.* Быстрые преобразования в ориентированном базисе // Технічна електродинаміка. Тем. вип. "Силова електроніка та енергоефективність". – Ч. 2. – 2004. – С. 123–126.
3. *Терещенко Т.А., Лайкова Л.Г., Пархоменко А.С.* Способы определения автокорреляционной функции с помощью преобразования Уолша // Технічна електродинаміка. – 2014. – №5. – С. 104–106.
4. *Zhuikov V., Petergerya J.* Consumption control at local objects using delaying m-filters // Proc. of Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, 2006 International conference TCSET '2006 (February 28-March 4, 2006, Lviv-Slavsko, Ukraine). – 2006. – Pp. 216–217.
5. *Zhuikov V., Petergeria I., Khokhlov Y., Khyzhnyak T.* Use of discrete transfroms with m-ary argument for remote control and diagnostics of semiconductor converters // Proc. of Compatibility and Power Electronics (CPE), 2009 6th International Conference-Workshop (20-22 May 2009, Badajoz, Spain). – 2009. – Pp. 469–473.
6. *Gibbs J.E., Pichler F.R.* Comments on Transformation of "Fourier" Power Spectra into "Walsh" Power Spectra // IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility. – 1971. – Vol. EMC-13. – No 3. – Pp. 51–55.

УДК 681.325.519.2

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОКОРЕЛЯЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ В ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ОРІЄНТОВАНОМУ БАЗИСІ

Т.О.Терещенко[1], докт.техн.наук, **Т.А.Хижняк**[1], канд.техн.наук, **Л.Г. Лайкова**[1], **А.С. Пархоменко**[2]
[1] – **Національний технічний університет України "КПІ",**
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна, **e-mail: tatjana.khizhnjak@gmail.com**
[2] – **ТОВ "АЙ ТІ ФЬЮЧЕ КОМПАНІ",** **вул. Межигірська, 37, Київ, 04071, Україна.**

Запропоновано метод швидкого знаходження значень арифметичних автокореляційних функцій (АКФ) за допомогою перетворення в орієнтованому базисі (ОБ) для дослідження електричних кіл. Шляхом моделювання типових форм сигналів знайдено рекурентні матричні форми, що дозволили істотно спростити розрахунок арифметичних АКФ. Виконано порівняння трудомісткості обчислення арифметичної АКФ з використанням ОБ і з використанням традиційних перетворень – швидкого перетворення Фур'є і перетворення Уолша. Бібл. 6, рис. 2.
Ключові слова: випадковий процес, актокореляційна функція, перетворення Уолша, перетворення в орієнтованому базисі.

RESEARCH OF AUTOCORRELATION FUNCTION USING THE TRANSFORMATION IN ORIENTED BASIS IN ELECTRICAL CIRCUITS

T. Tereshchenko[1], **T. Khyzhniak**[1], **L. Laikova** [1], **A. Parkhomenko**[2]
[1] – **National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",**
pr. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine, **e-mail: tatjana.khizhnjak@gmail.com**
[2] – **LLC "IT FUTURE COMPANY",** **vul. Mezhyhirska, 37, Kyiv, 04071, Ukraine.**

The method for fast calculation of the values of arithmetic autocorrelation functions (ACF) using the transformation in oriented basis is proposed for research of electrical circuits. Recurrent matrix forms calculated by the modeling of typical form of signal allowed simplify the calculation of such functions. The complexity of calculating of arithmetic ACF was compare for different transformations - fast Fourier transformation, Walsh transformation and transformation in oriented basis. References 6, figures 2.
Key words: random process, autocorrelation function, Walsh transformation, transformation in oriented basis.

1. *Dmitriev E.A., Malakhov V.P.* Application of Walsh transform processing system diagnostic information about the rotary machines // Pratsi Odeskoho Politekhnichnoho Universytetu. – 2001. – Issue 1. – Pp. 135–137. (Rus)
2. *Petergerya J.* Fust transformation in oriented basis // Tekhnichna Elektrodynamika. Spetsialnyi vypusk "Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist". – 2004. – Part 2. – Pp. 123–126.
3. *Tereshchenko T.O., Laikova L.H., Parkhomenko A.S.* Methods for determining an autocorrelation function using walsh transform // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2014. – No 5. – Pp. 104–106. (Rus)
4. *Zhuikov V., Petergerya J.* Consumption control at local objects using delaying m-filters // Proc. of Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, 2006 International conference TCSET '2006 (February 28-March 4, 2006, Lviv-Slavsko, Ukraine). – 2006. – Pp. 216–217.
5. *Zhuikov V., Petergeria I., Khokhlov Y., Khyzhnyak T.* Use of discrete transfroms with m-ary argument for remote control and diagnostics of semiconductor converters // Proc. of Compatibility and Power Electronics (CPE), 2009 6th International Conference-Workshop (20-22 May 2009, Badajoz, Spain). – 2009. – Pp. 469–473.
6. *Gibbs J.E., Pichler F.R.* Comments on Transformation of "Fourier" Power Spectra into "Walsh" Power Spectra // IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility. – 1971. – Vol. EMC-13. – No 3. – Pp. 51–55.

Надійшла 03.02.2016
Остаточний варіант 19.05.2016