

УДК 621.316.91

ББК 31.247

О.Н. АНДРЕЕВ, Л.Н. ВАСИЛЬЕВА

НЕЙРОСЕТЕВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ИСКАЖЕНИЯМИ В «СКОЛЬЗЯЩЕМ ВРЕМЕННОМ ОКНЕ»

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, цифровая обработка сигналов, фильтрация, релейная защита.

Постоянный контроль уровня гармонических составляющих сигналов в электрических сетях является важной задачей в обеспечении качественного энергоснабжения потребителей. Это относится как к нормальным, так и к аварийным режимам работы энергосистемы. Одним из источников нелинейных искажений сигналов в измерительных органах являются нелинейные режимы работы трансформаторов. Эффекты насыщения и гистерезисные явления в измерительных трансформаторах тока затрудняют идентификацию реальных параметров работы электроэнергетического оборудования. В статье показано, что для контроля нелинейных искажений сигналов промышленной частоты может применяться аппарат искусственных нейронных сетей. Предлагаемый алгоритм на основе нейронной сети прямого распространения протестирован на примере искажения сигналов тока во вторичной обмотке измерительного трансформатора. Показана возможность определить амплитуду, частоту и фазу гармонических составляющих сигнала в «скользящем временном окне» с точностью до единиц процентов. Сделаны оценки необходимой частоты и интервала оцифровки сигналов, проводится сравнение с использованием алгоритма дискретного преобразования Фурье.

Мониторинг качества электроэнергии является важнейшей задачей в электроэнергетике [6, 17, 23]. В электроэнергетических системах широко применяются измерительные трансформаторы тока и напряжения. Они предназначены для уменьшения первичных токов и напряжений до значений, наиболее удобных для подключения измерительных приборов, устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики. В трансформаторах могут возникать нелинейные искажения сигнала [1], когда ток, протекающий через цепи трансформатора, многократно возрастает. Искажения обусловлены насыщением ферромагнитного сердечника трансформатора и гистерезисом кривой намагничивания [8]. Искажения, возникающие во вторичных цепях измерительных трансформаторов тока и напряжения, приводят к искажению реальной картины процессов в электрической сети, поступающей на аналоговые входы устройств релейной защиты и автоматики (РЗА).

Насыщение сердечника происходит при многократном превышении значения тока номинального значения данного трансформатора (рис. 1, а). В такой ситуации ток намагничивания находится на криволинейной части характеристики кривой намагничивания. Гармонический анализ такого искажённого сигнала показывает, что в сигнале присутствуют только нечетные гармонические составляющие. Также насыщение сердечника трансформатора возможно при наличии апериодической составляющей в сигнале, которая и приводит к быстрому насыщению трансформатора (рис. 1, б). В таком сигнале, помимо нечетных гармоник, присутствуют и четные гармонические составляющие.

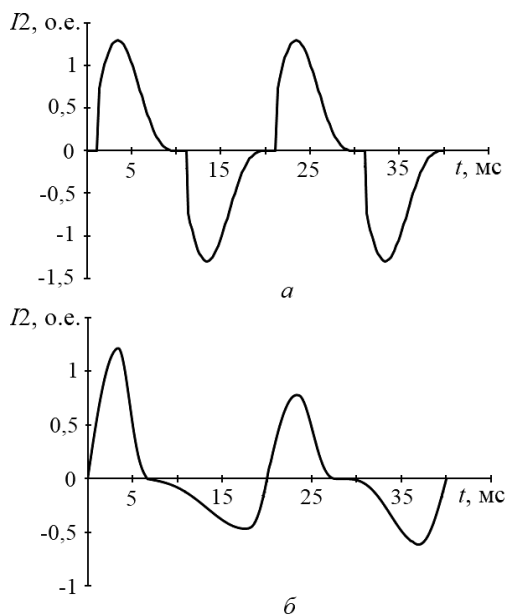


Рис. 1. Искажение сигнала при насыщении трансформатора

Интеллектуальные электронные устройства (ИЭУ), в число которых входят устройства РЗА, могут некорректно реагировать на искаженный сигнал, в результате чего они могут выдать ложный сигнал на отключение в рабочих режимах либо же в случае возникновения аварийной ситуации выдать сигнал на отключение со значительной задержкой или не выдать его [5, 12, 20]. Традиционные алгоритмы фильтрации в устройствах РЗА основываются на дискретном преобразовании Фурье (ДПФ). Наряду с ДПФ применение находит адаптивная фильтрация [10]. С помощью этих методов выделяют сигнал основной частоты, а также требуемые гармонические составляющие сигнала [13]. Например, для работы алгоритмов релейной защиты трансформаторов требуется выделить основную (первую) и вторую гармоники [2].

Наряду с традиционными методами фильтрации в цифровой обработке сигналов (ЦОС) широкое применение начинает находить аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС) [3, 14, 15]. Помимо проведения анализа гармонических составляющих сигнала [9, 18, 22] простейшая ИНС [7, 27] позволяет оценить основную частоту сигнала. Быстродействие – одно из основных преимуществ нейронной сети, благодаря этому ИНС может применяться для обработки сигналов в реальном времени [16, 19].

В работе предлагается использовать простую ИНС для оценки параметров тока вторичной цепи измерительного трансформатора. Структура ИНС для анализа параметров сигнала в реальном времени представлена на рис. 2.

На вход ИНС подаются последовательные дискретные отсчеты сигнала в режиме «скользящего окна». На выходе ИНС – измеряемые параметры: A_{1r} – амплитуда сигнала основной частоты; A_{mr} – амплитуда какой-либо высшей гармоники,

например второй; f_r – основная частота сигнала; φ_r – фаза сигнала основной частоты. Количество нейронов в скрытом слое подбирается эмпирическим путем.

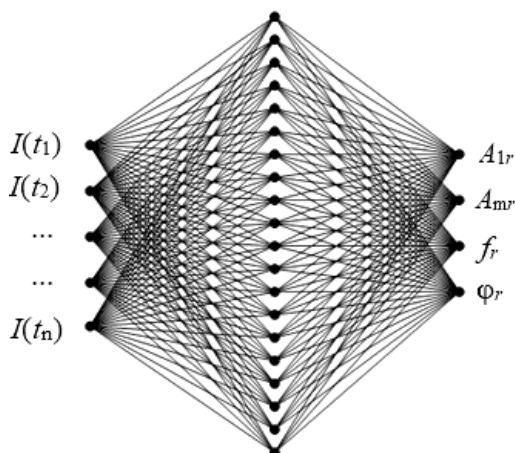


Рис. 2. Структура ИНС для анализа параметров сигнала

Нейронная сеть требует предварительного обучения [21]. Для этого требуется значительное количество (от 1000 до 20000) обучающих и тестовых сигналов [11]. Для упрощения моделирования массив обучающих и тестовых выборок сигналов вторичного тока задавался качественно с помощью следующей простейшей формулы:

$$\sum_k A_{kr} \sin(2k \cdot \pi \cdot f_r + k \cdot \varphi_r), \quad (1)$$

где $k = 1, 2, 3, 5, 7$; $A_{1r}, A_{2r}, A_{3r}, A_{5r}, A_{7r}, f_r, \varphi_r$ – случайные величины, равномерно распределенные в соответствующих диапазонах: A_{1r} – от 0,6 до 1,0; A_{2r} – от 0,01 до 0,60; A_{3r} – от 0,01 до 0,10; A_{5r} – от 0,01 до 0,05; A_{7r} – от 0,01 до 0,03; f_r – от 45,0 до 55,0 Гц; φ_r – от 0,0 до 2π .

Обучение проводилось традиционным алгоритмом обратного распространения ошибки [4]. Частота дискретизации сигналов, подаваемых на вход ИНС, – 2400 Гц. Число входных нейронов $n = 15$, что соответствует временному интервалу 6,25 мс, за который восстанавливаются параметры сигнала. Количество нейронов в скрытом слое выбрано 20, что на 1 нейрон больше суммы входных и выходных нейронов [24, 25].

Для моделирования ИНС использовалась открытая аналитическая платформа DEDUCTOR (www.basegroup.ru). Помимо построения модели ИНС, данная платформа позволяет обучать и тестировать ИНС, а также визуализировать полученные результаты.

Максимальная погрешность определения величины основной гармоники тестового сигнала в 95% случаев не превышает 6% от диапазона варьирования, или 2,4% от максимальной амплитуды сигнала тока. Гистограмма распределения ошибок ИНС при определении амплитуды сигнала тока основной частоты показана на рис. 3. В целом нечетные гармоники определяются с точностью

в единицы процентов от диапазона варьирования. Точность определения четных гармоник зависит от уровня высших нечетных гармоник – чем выше уровень нечетных гармоник, тем выше процент погрешности определения четных гармоник.

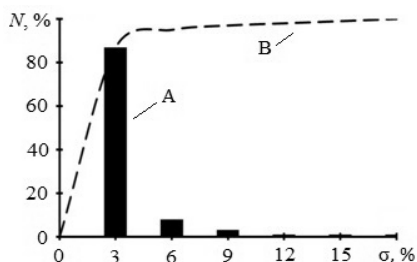


Рис. 3. А – гистограмма распределения ошибок на выходе ИНС при распознавании амплитуды сигнала тока основной частоты; В – сумма с накоплением

Максимальные ошибки определения значения фазы φ_r находятся в районе значений 0 , π и 2π , т.е. там, где значение тока меняет свой знак. Соответствующая диаграмма рассеяния для фазы показана на рис. 4. Здесь резкие искажения фазы при значениях 0 , π и 2π могут быть исключены в процессе дополнительной обработки сигнала в пределах временного интервала, соответствующего длительности скользящего окна.

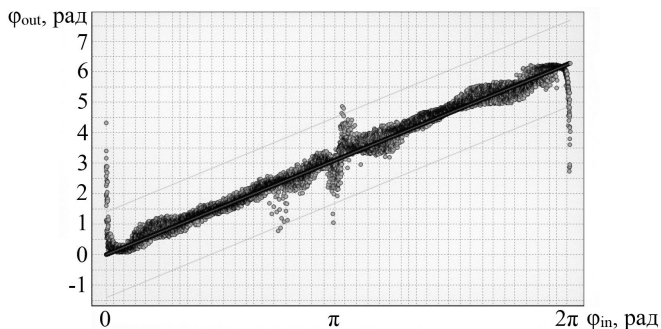


Рис. 4. Диаграмма рассеяния фазы

Пример временной зависимости начальной фазы сигнала тока основной частоты, полученный на выходе ИНС в режиме «если то» в «скользящем окне», показан на рис. 5.

Для наглядной демонстрации быстродействия сигнал тока, заданный по формуле (1) со следующими параметрами $A_{1r} = 1$; $A_{2r} = 0,6$; $A_{3r} = 0,10$; $A_{5r} = 0,05$; $A_{7r} = 0,03$; $f_r = 50$ Гц; $\varphi_r = 0$, был обработан ИНС и с помощью алгоритма ДПФ в «скользящем окне». Алгоритму ДПФ требуется 20 мс для точного определения параметров сигнала (рис. 6, б), в то время как ИНС потребовалось всего 6,25 мс (рис. 6, а), что составляет менее трети периода сигнала основной частоты.

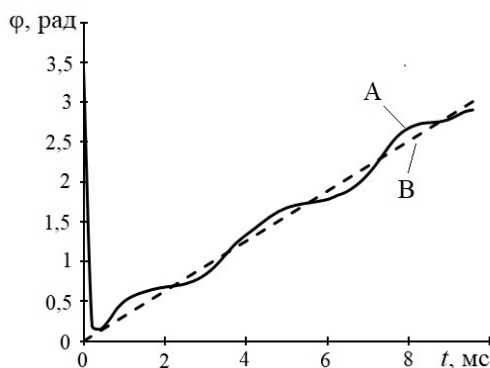


Рис. 5. А – фаза сигнала на выходе ИНС, В – фаза сигнала на входе ИНС

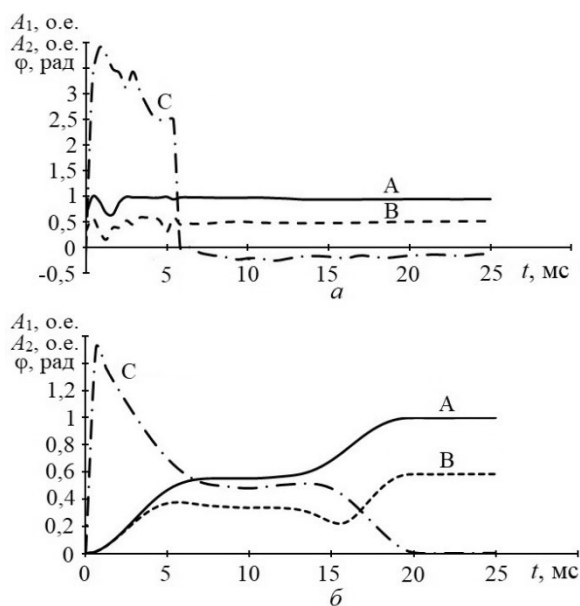


Рис. 6. Восстановление параметров сигнала тока вторичной обмотки трансформатора:
 а – с помощью ИНС; б – с помощью алгоритма преобразования Фурье
 (А – амплитуда основной гармоники; В – амплитуда второй гармоники; С – фаза сигнала)

Точность у алгоритма ДПФ несколько выше, однако в данном случае он требует априорного задания основной частоты сигнала. Если уровень искажений и амплитуды высших гармоник в сигнале тока небольшой, то длительность «временного скользящего окна» для использования ИНС может быть уменьшена примерно до 3 мс.

Выводы. Анализ предлагаемого алгоритма ИНС показал, что ИНС могут эффективно использоваться для оценки параметров сигнала вторичного тока измерительного трансформатора во время переходного процесса за интервал времени менее чем треть периода сигнала основной частоты сигнала. При этом

погрешность определения параметров сигнала промышленной частоты не превышает единиц процентов. Оценка быстродействия вычислений при помощи ИНС показывает, что обученная нейросеть, структура которой соответствует рис. 2, позволяет в режиме «если то» получать выходные параметры в стандартном микропроцессорном оборудовании за время, не превышающее 1 мс [26]. Потенциально это дает возможность использования ИНС для обработки сигналов в электроэнергетике в режиме реального времени.

Литература

1. Гуревич В. Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты. Ч. 2 // Компоненты и технологии. 2010. № 3. С. 91–96.
2. Засыпкин А.С. Релейная защита трансформаторов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 240 с.
3. Коцеев М.И., Славутский А.Л., Славутский Л.А. Простые нейросетевые алгоритмы для волнового метода определения места повреждения электросети // Вестник Чувашского университета. 2019. № 3. С. 110–118.
4. Круглов В.В., Борисов В.В. Нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия – телеком, 2002. 382 с.
5. Кузнецов С.Л., Дегтярев А.А. О координации функционирования трансформаторов тока и устройств релейной защиты и автоматики электроэнергетических систем в переходных режимах коротких замыканий // Электротехника. 2017. № 12. С. 65–72.
6. Лямец Ю.Я., Худельман Г.С., Павлов А.О., Ефимов Е.Б., Законьшек Я. Распознаваемость повреждений электропередачи. Ч. 3 // Электричество. 2001. № 12. С. 9–22.
7. Славутская Е.В., Славутский Л.А. О выборе структуры искусственных нейросетей и алгоритмов анализа психодиагностических данных // Казанский педагогический журнал. 2020. № 5. С. 202–211.
8. Славутский, А.Л. Учет остаточной намагниченности в трансформаторе при моделировании переходных процессов // Вестник Чувашского университета. 2015. № 1. С. 122–130.
9. Ameli A., Ayad A., El-Saadany E., Salama M. and Youssef A. A Learning-Based Framework for Detecting Cyber-Attacks Against Line Current Differential Relays. In: IEEE Transactions on Power Delivery, 2020. DOI: 10.1109/TPWRD.2020.3017433.
10. Antonov V.I., Naumov V.A., Fomin A.I. et al. Adaptive structural analysis of input signals of digital and relay protection and automation. *Russian Electrical Engineering*, 2015, vol. 86, 391–397. DOI: 10.3103/S1068371215070032.
11. Bychkov A.V., Slavutskii L.A. and Slavutskaya E.V. Neural Network for Pulsed Ultrasonic Vibration Control of Electrical Equipment. In: Int. Ural Conf. on Electrical Power Engineering (Ural-Con), 8936, 2020. DOI: 10.1109/UralCon49858.2020.9216248.
12. Bhattacharya B. and Sinha A. Intelligent Fault Analysis in Electrical Power Grids. In: IEEE 29th Int. Conf. on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), 2017. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8372054>.
13. Cao W., Yin X., Chen Y., Pan Y., Yin X. and Wang Y. The Impact of Zero-Mode Inrush Current of T-Hin on Zero-Sequence Overcurrent Protection and an Improved Protection with the Second Harmonic Restraint. *Energies*, 2019, vol. 12(15), 2911. DOI: 10.3390/en12152911.
14. Dharmendra K., Moushmi K. and Zadgaonkar A.S. Analysis of generated harmonics due to transformer load on power system using artificial neural network. *International journal of electrical engineering*, 2013. vol. 4, no 1, pp. 81-90.
15. Dillon T.S., Niebur D. Neural Networks Application in Power Systems. London, CRL Ltd. Publ., 1996.
16. Dommel H.W. Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single- and Multiphase Networks. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1969, vol. 88, no. 4, pp. 388–399.
17. Hassan S.R., Rehman A., Shabbir N., Unbreen A. Comparative Analysis of Power Quality Monitoring Systems. *NFC-IEFR Journal of Engineering and Scientific Research*, 2020. DOI: 10.24081/nijesr.2019.1.0004.

18. Keerthipala W., Chong L.T. and Leong T.C. Artificial neural network model for analysis of power system harmonics. *IEEE International Conference on Neural Networks*, 1995, vol. 2, pp. 905–910.
19. Kezunovic M. A Survey of Neural Net Applications to Protective Relaying and Fault Analysis. *Engineering Intelligent Systems*, 1997, vol. 5, no. 4, pp. 185–192.
20. Kulikov A.L., Loskutov A.A., Mitrovic M. Improvement of the technical excellence of multiparameter relay protection by combining the signals of the measuring fault detectors using artificial intelligence methods. *International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems 2019 (SES-2019)*, 2019, no. 124. DOI: 10.1051/e3sconf/201912401039.
21. Kumar K., Thakur G.S.M. Advanced Applications of Neural Networks and Artificial Intelligence: A Review. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 2012, no. 6, pp. 57–68. DOI: 10.5815/ijitcs.2012.06.08.
22. Mazumdar J., Harley R.G., Lambert F, Venayagamoorthy G. Neural Network Based Method for Predicting Nonlinear Load Harmonics. *Power Electronics, IEEE Transactions*, 2007, vol. 22, no. 3, pp. 1036–1045. DOI: 10.1109/TPEL.2007.8971109.
23. Milanovic J., Ball R.F., Howe W., Preece R., Bollen M.H.J., Elphick S., Cukalevski N. International Industry Practice on Power-Quality Monitoring. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2014, vol. 29, pp. 934–941.
24. Samarasinghe S. *Neural Networks for Applied Sciences and Engineering: From Fundamentals to Complex Pattern Recognition*. 1st ed. Boca Raton, Auerbach Publications, 2006, 570 p.
25. Schmidhuber J. Deep Learning in Neural Networks: An Overview. *Neural Networks*, 2014, no. 61, pp. 85–117. DOI: 10.1016/j.neunet.2014.09.003.
26. Slavutskiy A., Slavutskii L., Slavutskaya E. Neural Network for Real-Time Signal Processing: the Nonlinear Distortions Filtering. In: *International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*, 2021, pp. 84–88. DOI: 10.1109/UralCon52005.2021.9559619.
27. Rosenblatt F. *Principles of neurodynamics*. Washington D.C., Spartan Books, 1962.

АНДРЕЕВ ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ – аспирант кафедры автоматике и управления в технических системах, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (helga013@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2974-2502>).

ВАСИЛЬЕВА ЛИДИЯ НИКОЛАЕВНА – кандидат педагогических наук, доцент кафедры автоматике и управления в технических системах, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (oln2404@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2809-9044>).

Oleg N. ANDREEV, Lidia N. VASILEVA
NEURAL NETWORK SIGNAL PROCESSING WITH NONLINEAR
DISTORTIONS IN A "SLIDING TIME WINDOW"

Key words: artificial neural network, digital signal processing, filtering, relay protection.

Continuous monitoring of the signals harmonic components level in electrical networks is an important task in ensuring high-quality power supply to consumers. This applies to both normal and emergency power system operation modes. One of the nonlinear signal distortions sources in measuring devices are nonlinear operating transformers modes. Saturation effects and hysteresis phenomena in measuring current transformers make it difficult to identify the actual operating parameters of electric power equipment. The paper shows that the apparatus of artificial neural networks can be used to control the nonlinear distortions of industrial frequency signals. The proposed algorithm based on a direct propagation neural network is tested on the example of distortion of current signals in the secondary winding of a measuring transformer. It is shown that it is possible to determine the amplitude, frequency and phase of the signal harmonic components in a "sliding time window" with an accuracy of a few percent. Estimates of the required frequency and interval of signal digitization are made; a comparison is made using the discrete Fourier transform algorithm.

References

1. Gurevich, V. *Problema elektromagnitnykh vozdeistvii na mikroprotsessornye ustroystva releinoi zashchity. Chast' 2* [The problem of electromagnetic influences on microprocessor relay protection devices. Part 2]. *Komponenty i tekhnologii*, 2010, no. 3, pp. 91–96.
2. Zasyplin A.S. *Releynaya zashchita transformatorov* [Power transformer relay protection]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1989, 240 p.
3. Koshcheev M.I., Slavutskii A.L., Slavutskii L.A. *Prostye neurosetevye algoritmy dlya volnovogo metoda opredeleniya mesta povrezhdeniya elektroseti* [Simple neural network algorithms for the wave method of determining the location of power grid damage]. *Vestnik Chuvashskogo universiteta*, 2019, no. 3, pp. 110–118.
4. Kruglov V.V., Borisov V.V. *Neironnye seti. Teoriya i praktika* [Neural networks. Theory and practice]. Moscow, Goryachaya liniya – telekom Publ., 2002, 382 p.
5. Kuzhekov S.L., Degtyarev A.A. *O koordinatsii funktsionirovaniya transformatorov toka i ustroystv releinoi zashchity i avtomatiki elektroenergeticheskikh sistem v perekhodnykh rezhimakh korotkikh замыканий* [On the coordination of current transformers and relay protection and automation operation of electric-power systems in transient short-circuit states]. *Elektrotekhnika*, 2017, no. 12, pp. 65–72.
6. Lyamets Yu.Ya., Nudel'man G.S., Pavlov A.O., Efimov E.B., Zakon'shek Ya. *Raspoznavаемость поврзхдений электропередачи. Част' 3* [Recognition of power transmission damage, parts 3] *Elektrichestvo*, 2001, no. 12, pp. 9–22.
7. Slavutskaya E.V., Slavutskii L.A. *O vybore struktury iskusstvennykh neurosetei i algoritmov analiza psikhodiagnosticheskikh dannykh* [On choosing the structure of artificial neural networks and algorithms for analyzing psychodiagnostic data]. *Kazanskii pedagogicheskii zhurnal*, 2020, no. 5, pp. 202–211.
8. Slavutskii A.L. *Uchet ostatochnoi namagnichennosti v transformatore pri modelirovanii perekhodnykh protsessov* [Accounting the residual magnetization in the transformer for the modeling of transients]. *Vestnik Chuvashskogo universiteta*, 2015, no. 1, pp. 122–130.
9. Ameli A., Ayad A., El-Saadany E., Salama M. and Youssef A. A Learning-Based Framework for Detecting Cyber-Attacks Against Line Current Differential Relays. In: *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2020. DOI: 10.1109/TPWRD.2020.3017433.
10. Antonov V.I., Naumov V.A., Fomin A.I. et al. Adaptive structural analysis of input signals of digital and relay protection and automation. *Russian Electrical Engineering*, 2015, vol. 86, pp. 391–397. DOI: 10.3103/S1068371215070032.
11. Bychkov A.V., Slavutskii L.A. and Slavutskaya E.V. Neural Network for Pulsed Ultrasonic Vibration Control of Electrical Equipment. In: *Int. Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*, 8936, 2020. DOI: 10.1109/UralCon49858.2020.9216248.
12. Bhattacharya B. and Sinha A. Intelligent Fault Analysis in Electrical Power Grids. In: *IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, 2017. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8372054>.
13. Cao W., Yin X., Chen Y., Pan Y., Yin X. and Wang Y. The Impact of Zero-Mode Inrush Current of T-Hin on Zero-Sequence Overcurrent Protection and an Improved Protection with the Second Harmonic Restraint. *Energies*, 2019, vol. 12 (15), 2911. DOI: 10.3390/en12152911.
14. Dharmendra K., Moushmi K. and Zadgaonkar A.S. Analysis of generated harmonics due to transformer load on power system using artificial neural network. *International journal of electrical engineering*, 2013. vol. 4, no 1, pp. 81–90.
15. Dillon T.S., Niebur D. *Neural Networks Application in Power Systems*. London, CRL Ltd. Publ., 1996.
16. Dommel H.W. Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single- and Multiphase Networks. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1969, vol. 88, no. 4, pp. 388–399.
17. Hassan S.R., Rehman A., Shabbir N., Unbreen A. Comparative Analysis of Power Quality Monitoring Systems. *NFC-IEFR Journal of Engineering and Scientific Research*, 2020. DOI: 10.24081/nijser.2019.1.0004.

18. Keerthipala W., Chong L.T. and Leong T.C. Artificial neural network model for analysis of power system harmonics. *IEEE International Conference on Neural Networks*, 1995, vol. 2, pp. 905–910.
19. Kezunovic M. A Survey of Neural Net Applications to Protective Relaying and Fault Analysis. *Engineering Intelligent Systems*, 1997, vol. 5, no. 4, pp. 185–192.
20. Kulikov A. L., Loskutov A.A. and Mitrovic M. Improvement of the technical excellence of multiparameter relay protection by combining the signals of the measuring fault detectors using artificial intelligence methods. *International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems 2019 (SES-2019)*, 2019, no. 124. DOI: 10.1051/e3sconf/201912401039.
21. Kumar K., Thakur G.S.M. Advanced Applications of Neural Networks and Artificial Intelligence: A Review. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 2012, no. 6, pp. 57–68. DOI: 10.5815/ijites.2012.06.08.
22. Mazumdar J., Harley R.G., Lambert F., Venayagamoorthy G. Neural Network Based Method for Predicting Nonlinear Load Harmonics. *Power Electronics, IEEE Transactions*, 2007, vol. 22, no. 3, pp. 1036–1045. DOI: 10.1109/TPEL.2007.897109.
23. Milanovic J., Ball R.F., Howe W., Preece R., Bollen M.H.J., Elphick S., Cukalevski N. International Industry Practice on Power-Quality Monitoring. *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29, pp. 934-941, 2014.
24. Samarasinghe S. Neural Networks for Applied Sciences and Engineering: From Fundamentals to Complex Pattern Recognition. 1st ed. Boca Raton, Auerbach Publications, 2006, 570 p.
25. Schmidhuber J. Deep Learning in Neural Networks: An Overview. *Neural Networks*, 2014, no. 61, pp. 85–117. DOI: 10.1016/j.neunet.2014.09.003.
26. Slavutskiy A., Slavutskii L., Slavutskaya E. Neural Network for Real-Time Signal Processing: the Nonlinear Distortions Filtering. In: International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2021, pp. 84–88. DOI: 10.1109/UralCon52005.2021.9559619.
27. Rosenblatt F. Principles of neurodynamics. Washington D.C., Spartan books, 1962.

OLEG N. ANDREEV – Post-Graduate Student, Department of the Management and Computer Science in Technical Systems, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (helga013@yandex.ru(helga013@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2974-2502>).

LIDIA N. VASILEVA – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of the Management and Computer Science in Technical Systems, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (oln2404@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2809-9044>).

Формат цитирования: Андреев О.Н., Васильева Л.Н. Нейросетевая обработка сигналов с нелинейными искажениями в «скользящем временном окне» // Вестник Чувашского университета. – 2022. – № 1. – С. 5–13. DOI: 10.47026/1810-1909-2022-1-5-13.