

2.4.3. Электроэнергетика

Научная статья

УДК 621.3.017.3

<https://doi.org/10.37493/2307-907X.2023.6.2>

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВЫХ СООТНОШЕНИЙ ВЕКТОРОВ ТРЕХФАЗНОЙ СИСТЕМЫ НА ПОГРЕШНОСТЬ ОЦЕНКИ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Виталий Евгеньевич Мартусенко^{1*}, Юрий Юрьевич Дедешко²,
Дмитрий Евгеньевич Минаев³

^{1, 2, 3} Северо-Кавказский федеральный университет (д. 1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Российская Федерация)

¹ vmartusenko@ncfu.ru; <https://orcid.org/0009-0008-8564-8143>

² dedeshko.yura@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-9372-4267>

³ minaev2002.bk@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-4916-5068>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация. Введение. Анализ качества электроэнергии по показателям, характеризующим несимметрию напряжений с использованием классического метода симметричных составляющих, предполагает измерения не только оценки модулей напряжений трехфазной системы, но и их угловых соотношений. **Цель.** Оценка влияния угловой погрешности векторных измерений параметров трехфазной системы на точность оценки симметричных составляющих. **Материалы и методы.** В рамках исследований был реализован метод статистических испытаний на основе вычислительного эксперимента. **Результаты и обсуждение.** Проведена оценка погрешности расчета симметричных составляющих при различном уровне несимметрии и разной угловой погрешности векторных измерений. Получены зависимости погрешности определения напряжений прямой, обратной и нулевой последовательности от точности оценки угловых соотношений между векторами измеренных напряжений трехфазной сети. **Заключение.** В результате сформулированы требования к точности определения угловых соотношений векторов трехфазной системы, обеспечивающие удовлетворительную точность расчета симметричных составляющих.

Ключевые слова: трехфазная система, несимметрия, симметричные составляющие, угловая погрешность

Для цитирования: Мартусенко В. Е., Дедешко Ю. Ю., Минаев Д. Е. Влияние точности определения угловых соотношений векторов трехфазной системы на погрешность оценки симметричных составляющих // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2023. № 6 (99). С. 16–24. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2023.6.2>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 05.07.2023;

одобрена после рецензирования 03.08.2023;

принята к публикации 04.09.2023.

Research article

THE EFFECT OF THE ACCURACY OF DETERMINING THE ANGULAR RATIOS OF THE VECTORS OF A THREE-PHASE SYSTEM ON THE ERROR OF ESTIMATING SYMMETRIC COMPONENTS

Vitaly E. Martusenko^{1*}, Yury Yu. Dedeshko², Dmitry E. Minaev³

^{1, 2, 3} North-Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation)

¹ vmartusenko@ncfu.ru; <https://orcid.org/0009-0008-8564-8143>

² dedeshko.yura@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0000-9372-4267>

³ minaev2002.bk@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-4916-5068>

* Corresponding author

Abstract. Introduction. Analysis of the quality of electricity based on indicators characterizing voltage asymmetry using the classical method of symmetrical components involves measuring not only an assessment of the voltage modules of a three-phase system, but also their angular ratios. **Goal.** Assessment of the influence of the angular error of vector measurements of the parameters of a three-phase system on the accuracy of estimating symmetrical components. **Materials and methods.** As part of the research, a statistical testing method was implemented based on a computational experiment. **Results and discussion.** An assessment was made of the error in calculating symmetrical components at different levels of asymmetry and different angular errors of vector measurements. The dependences of the error in determining the positive, negative and zero sequence voltages on the accuracy of estimating the angular relationships between the vectors of the measured voltages of a three-phase network were obtained.

© Мартусенко В. Е., Дедешко Ю. Ю., Минаев Д. Е., 2023

Conclusion. As a result, requirements have been formulated for the accuracy of determining the angular relationships of the vectors of a three-phase system, ensuring satisfactory accuracy in the calculation of symmetrical components.

Keywords: three-phase system, asymmetry, symmetrical components, angular error

For citation: Martusenko V. E., Dedeshko Y. Y., Minaev D. D. The effect of the accuracy of determining the angular ratios of the vectors of a three-phase system on the error of estimating symmetric components. *Newsletter of North-Caucasus Federal University*. 2023;6(99):16-24. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2023.6.2>

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 05.07.2023;

approved after reviewing 03.08.2023;

accepted for publication 04.09.2023.

Введение / Introduction. Одним из основных показателей, характеризующих качество электроэнергии в электрических сетях общего назначения, является уровень несимметрии напряжений. В низковольтных распределительных сетях несимметрия напряжений, как правило, является следствием неравномерной загрузки фаз – несимметрии токов [1]. Несимметрия напряжений и токов снижает эффективность работы сети, вызывая дополнительные потери электроэнергии, ухудшая условия работы электрооборудования, снижая тем самым его ресурс [1–3].

Оценка и мониторинг параметров несимметричного режима трехфазной сети предусматривает использование широко известного метода симметричных составляющих [4]. Указанный метод предполагает представление несимметричной трехфазной системы векторов в виде трех симметричных последовательностей: прямой, обратной и нулевой. Классически разложение трехфазной системы векторов на симметричные составляющие производится по следующим выражениям [5]:

$$\left. \begin{aligned} \underline{A}_0 &= \frac{1}{3} (\underline{A} + \underline{B} + \underline{C}) \\ \underline{A}_1 &= \frac{1}{3} (\underline{A} + a\underline{B} + a^2\underline{C}) \\ \underline{A}_2 &= \frac{1}{3} (\underline{A} + a^2\underline{B} + a\underline{C}) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где $\underline{A}_0, \underline{A}_1, \underline{A}_2$ – соответственно вектора нулевой, прямой и обратной последовательностей токов и / или напряжений, рассчитываемые для фазы «А»; $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}$ – исходные вектора фаз «А», «В» и «С» несимметричной трехфазной системы; $a = \exp\left(j \frac{2\pi}{3}\right)$ – оператор фазового поворота.

Использование выражения (1) предполагает определение режимных параметров (токов и / или напряжений) в векторном виде, что сопряжено с необходимостью оценки не только их модулей, но угловых соотношений между ними.

В условиях широкого распространения цифровых средств измерения (СИ), определение модулей режимных параметров с высокой степенью точности – задача относительно простая. Некоторую сложность может вызвать оценка угловых соотношений между векторами трехфазной системы. Данная оценка может быть проведена аналитически на основе измерения модулей с использованием известных геометрических соотношений, как предложено в [6], однако данный подход подразумевает повышение вычислительной нагрузки СИ.

Указанные угловые соотношения также могут быть определены и инструментально, посредством специализированных СИ [7]. Но применение средств аппаратного определения фазовых сдвигов влечет за собой появление дополнительной погрешности их оценки, особенно в условиях «засоренности» спектров измеряемых сигналов [8]. При этом следует отметить, что низковольтные распределительные сети характеризуются достаточно высоким уровнем несинусоидальности напряжений и в еще большей степени несинусоидальности токов [9, 10].

Таким образом, формируется задача оценки влияния погрешности измерения фазовых соотношений между векторами трехфазной системы на точность определения симметричных составляющих при мониторинге уровня несимметрии токов и / или напряжений.

Материалы и методы исследований / Materials and methods of research. Для реализации данного вида работ был проведен вычислительный эксперимент при случайном значении коэффициента несимметрии и различном значении погрешности задаваемых угловых соотношений фазных напряжений.

жений. В основе эксперимента был применен метод статистических испытаний, известный, как «метод Монте-Карло».

Схема эксперимента заключалась в следующем:

- 1) напряжения задавались в относительных единицах при этом напряжение фазы «А» принималось за максимальное и фиксировалось как единица ($U_A = 1$), а напряжения фаз «В» и «С» задавались генератором случайных чисел в диапазоне от 0,9 до 1,0 о. е. Начальная фаза напряжения U_A также фиксировалась как нулевая ($\psi_A = 0$ рад.), а начальные фазы ψ_B и ψ_C случайно генерировались в заданном пользователем диапазоне. Полученная система фазных векторов принималась за эталонную;
- 2) в эталонную систему вводились случайные фазовые сдвиги, моделирующие погрешность определения углов векторов фаз «В» и «С» (вектор фазы «А» не менялся). Полученная система векторов рассматривалась как исследуемая;
- 3) для эталонной и исследуемой систем производился расчет заданной симметричной составляющей. Результаты расчетов сравнивались между собой, и определялась погрешность оценки симметричных составляющих.

Алгоритм проведения вычислительного эксперимента поясняется блок-схемой, приведенной на рисунке 1.

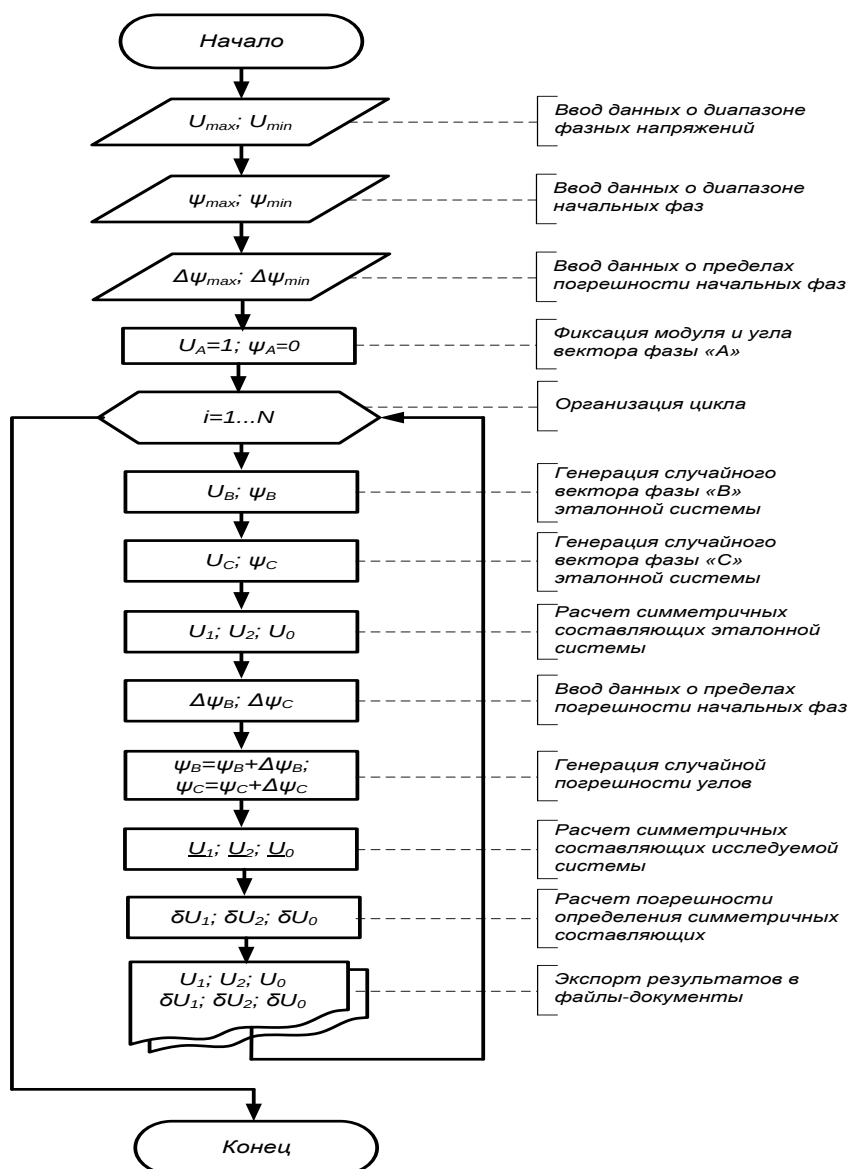


Рис. 1. Блок-схема алгоритма вычислительного эксперимента / Flowchart of the computational experiment algorithm

Данный алгоритм был реализован в среде математического редактора MathCad. По итогам работы алгоритма формировались файлы-документы, содержащие результаты расчета в табличном виде. Полученные таблицы были обработаны с использованием инструментария математической статистики табличного редактора MS Excel.

Исследование проводилось в 3 этапа: для прямой, обратной и нулевой последовательностей. На каждом этапе осуществлялась реализация нескольких серий вычислительных экспериментов для различных значений предельных угловых погрешностей.

Результаты исследований и их обсуждение / Research results and their discussion. На первом этапе исследования была проведена серия вычислительных экспериментов по оценке влияния угловой погрешности на точность оценки напряжения прямой последовательности. Для реализации метода статистических испытаний было проведено 3 серии экспериментов по 100 испытаний в каждой серии, в каждой из которых задавалась своя предельная угловая погрешность. Расчеты выполнялись для угловых погрешностей $\pm 1^\circ$, $\pm 0,5^\circ$ и $\pm 0,1^\circ$.

Полученные графические зависимости относительной погрешности от уровня несимметрии при различном значении предельной угловой погрешности представлены на рисунке 2.

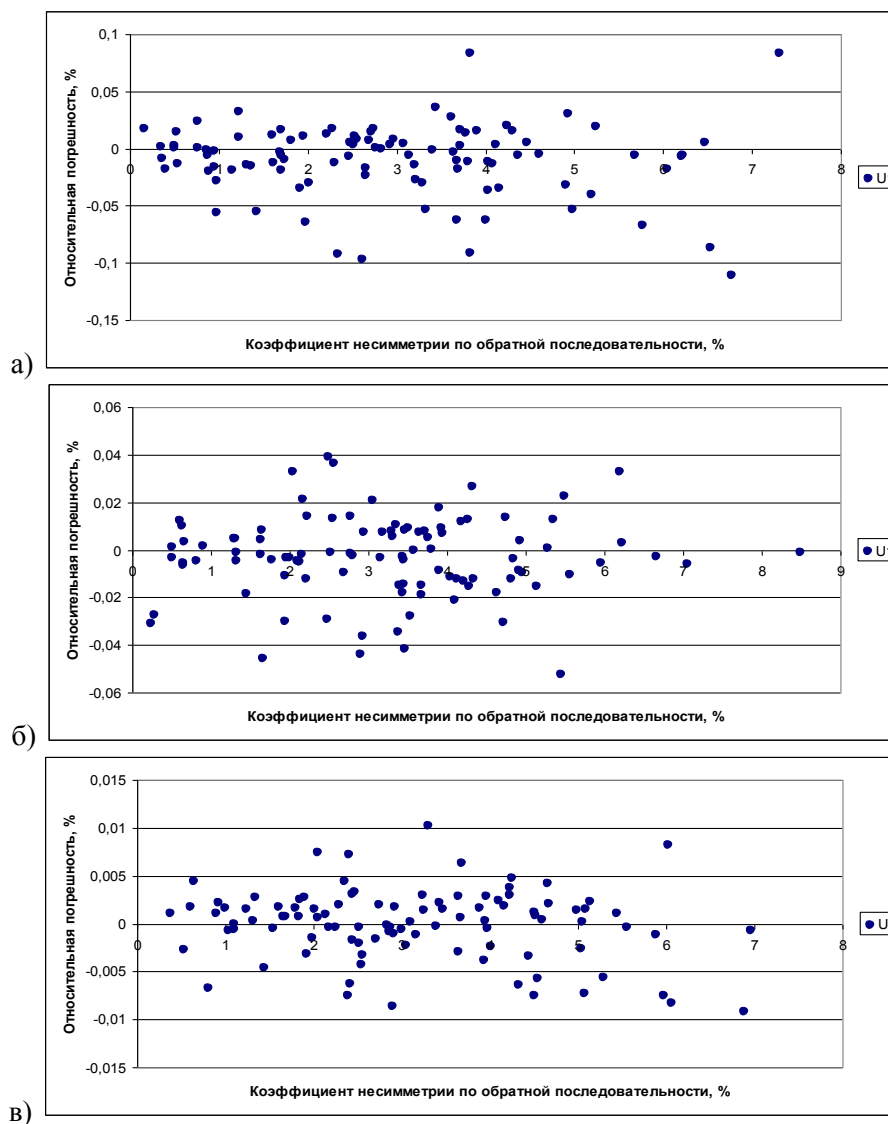


Рис. 2. Зависимость относительной погрешности расчета прямой последовательности от коэффициента несимметрии по обратной последовательности при различной предельной угловой погрешности (а – погрешность $\pm 1^\circ$; б – погрешность $\pm 0,5^\circ$; в – погрешность $\pm 0,1^\circ$) / The dependence of the relative error in calculating the forward sequence on the coefficient of asymmetry in the reverse sequence with different marginal angular error

Статистические данные по результатам экспериментов, представленные в таблице 1, соответствуют диапазону коэффициентов несимметрии от 0 до 8 %.

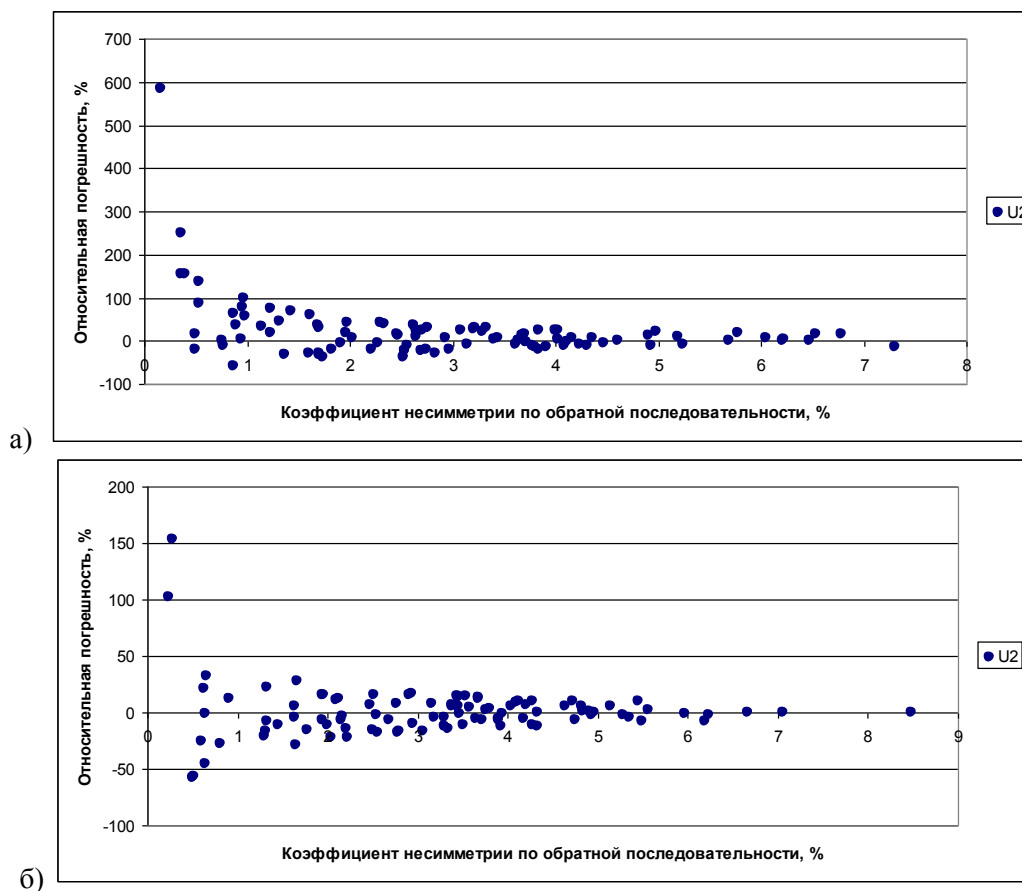
Таблица 1

Описательная статистика относительной погрешности определения прямой последовательности /
Descriptive statistics of the relative error in determining the forward sequence

Относительная погрешность определения напряжения прямой последовательности	Заданная угловая погрешность векторов фазных напряжений		
	$\pm 1^\circ$	$\pm 0,5^\circ$	$\pm 0,1^\circ$
Среднее, %	-0,0099	-0,0033	-0,0021
Стандартное отклонение, %	0,0322	0,0173	0,0162
Дисперсия выборки	0,0010	0,0003	0,0003
Интервал, %	0,1937	0,0916	0,0661
Минимум, %	-0,1106	-0,0525	-0,0344
Максимум, %	0,0831	0,0392	0,0216

Как можно увидеть из таблицы 1, относительная погрешность определения прямой последовательности крайне мала, даже при угловой погрешности $\pm 1^\circ$ максимально зафиксированное значение относительной погрешности составило 0,11 %. При этом с учетом правила «трех сигм» можно считать, что с вероятностью 0,997 погрешность не превысит $\pm 0,35$ %.

На втором этапе исследования была проведена серия вычислительных экспериментов по оценке влияния угловой погрешности на точность оценки напряжения, но уже для обратной последовательности. Полученные графические зависимости относительной погрешности от уровня несимметрии при различном значении предельной угловой погрешности представлены на рисунке 3. Статистические данные по результатам экспериментов представлены в таблице 2. Данные в указанной таблице также соответствуют диапазону коэффициентов несимметрии от 0 до 8 %.



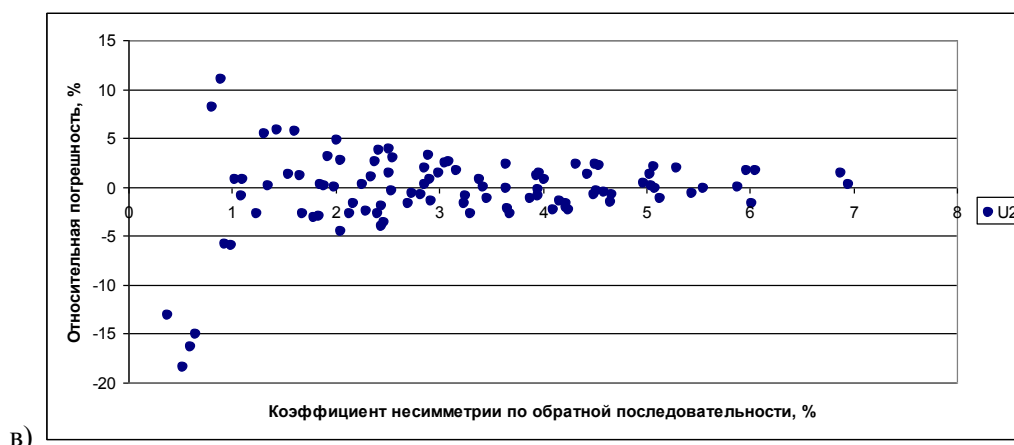


Рис. 3. Зависимость относительной погрешности расчета обратной последовательности от коэффициента несимметрии по обратной последовательности при различной предельной угловой погрешности (а – погрешность $\pm 1^\circ$; б – погрешность $\pm 0,5^\circ$; в – погрешность $\pm 0,1^\circ$) / The dependence of the relative error in calculating the reverse sequence on the coefficient of asymmetry in the reverse sequence with different limiting angular error

Таблица 2

Описательная статистика относительной погрешности определения обратной последовательности /
Descriptive statistics of the relative error in determining the reverse sequence

Относительная погрешность определения напряжения обратной последовательности	Заданная угловая погрешность векторов фазных напряжений		
	$\pm 1^\circ$	$\pm 0,5^\circ$	$\pm 0,1^\circ$
Среднее, %	21,204	0,3701	-0,4408
Стандартное отклонение, %	71,657	24,015	4,1249
Дисперсия выборки	5134,8	576,73	17,015
Интервал, %	641,39	211,18	29,455
Минимум, %	-57,769	-57,738	-18,434
Максимум, %	583,62	153,45	11,021

Как можно увидеть из таблицы 2, относительная погрешность определения прямой последовательности достаточно велика, даже при угловой погрешности $\pm 0,1^\circ$ максимально зафиксированное значение относительной погрешности превысило 18 %.

Следует отметить, что максимальная относительная погрешность сконцентрирована в области малой несимметрии. Однако и в области максимально допустимых значений несимметрии (от 2 до 4 %) величина относительной погрешности все же достаточно велика и составляет порядка 10 %.

На третьем этапе исследования была проведена серия вычислительных экспериментов по оценке влияния угловой погрешности на точность оценки напряжения, теперь уже для нулевой последовательности. Полученные графические зависимости относительной погрешности от уровня несимметрии при различном значении предельной угловой погрешности представлены на рисунке 4.



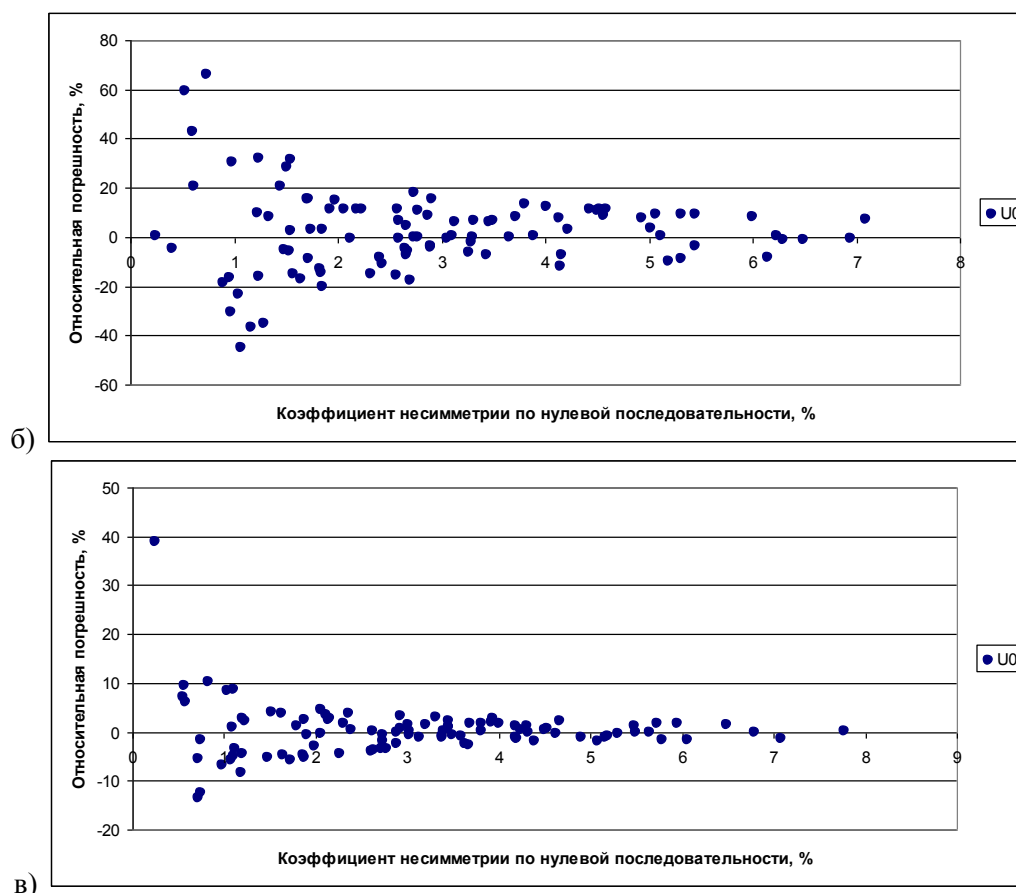


Рис. 4. Зависимость относительной погрешности расчета нулевой последовательности от коэффициента несимметрии по нулевой последовательности при различной предельной угловой погрешности (а – погрешность $\pm 1^\circ$; б – погрешность $\pm 0,5^\circ$; в – погрешность $\pm 0,1^\circ$) / The dependence of the relative error in the calculation of the zero sequence on the coefficient of asymmetry in the zero sequence with different limiting angular error

Следует отметить, что указанные зависимости в отличие от прямой и обратной последовательностей строились в осях коэффициента несимметрии по нулевой последовательности, а не по обратной. Статистические данные по результатам экспериментов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Описательная статистика относительной погрешности определения нулевой последовательности / Descriptive statistics of the relative error in determining the zero sequence

Относительная погрешность определения напряжения нулевой последовательности	Заданная угловая погрешность векторов фазных напряжений		
	$\pm 1^\circ$	$\pm 0,5^\circ$	$\pm 0,1^\circ$
Среднее, %	7,1770	2,1324	0,1361
Стандартное отклонение, %	39,946	16,794	5,4631
Дисперсия выборки	1595,7	282,05	29,846
Интервал, %	302,92	110,97	52,247
Минимум, %	-79,691	-44,942	-13,481
Максимум, %	223,22	66,031	38,766

Как можно увидеть из таблицы 3, относительная погрешность определения нулевой последовательности, как и в случае обратной последовательности, достаточно велика. Даже при угловой погрешности $\pm 0,1^\circ$ максимально зафиксированное значение относительной погрешности составило чуть менее 39 %.

Заключение / Conclusion. Результаты исследований показывают, что использование классического метода расчета симметричных составляющих на практике требует высокой точности определения угловых соотношений между векторами при оценке обратной и нулевой последовательности. При том что угловая погрешность может быть обусловлена погрешностью дискретизации, с учетом

полученных результатов можно считать, что для достижения удовлетворительного результата – обеспечения точности определения угловых соотношений в диапазоне $\pm 0,1^\circ$ – частота дискретизации должна быть достаточно высокой.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Петров А. В., Петров Д. В., Мартусенко В. Е., Мелихов К. Ю. Моделирование несимметричных режимов трехфазных четырехпроводных сетей с использованием графиков нагрузок, полученных на основе гармонического синтеза // Актуальные проблемы электроэнергетики, электроники и нанотехнологий : материалы IV ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета, Ставрополь, 04–30 апреля 2016 года. Ставрополь: Тэсэра, 2016. С. 91–96.
2. Волынцева О. А., Шелюг С. Н. Учет влияния несимметрии и несинусоидальности токов на расчет потерь электроэнергии в сети 0,4 кВ // Электроэнергетика глазами молодежи – 2018: материалы IX Международной молодежной научно-технической конференции: в 3 т., Казань, 01–05 октября 2018 года / отв. ред. Э. В. Шамсутдинов. Т. 1. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2018. С. 99–102.
3. Абраменко А. П., Кубасов Т. И. Несимметрия напряжений в распределительных сетях 0,4 кВ // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 1(58). С. 40–43.
4. Черных А. Г., Бузунов А. С. Применение метода симметричных составляющих для расчета несимметричных режимов работы трехфазных сетей // Образование и наука на XXI век. София: Бялград-БГ ООД, 2015. С. 56–64.
5. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. 9-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1996.
6. Кобозев В. А., Коваленко П. В. Расчет комплексных показателей несимметрии напряжений в электрических сетях // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2004. № 4. С. 50–53.
7. Гула И. В., Троцишин И. В., Войтюк А. П. Современные методы измерения фазового сдвига и возможные пути повышения точности за счет избыточности // Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах. 2012. № 3(41). С. 57–60.
8. Елинов Д. А., Бирюкова О. В., Чернецов М. В. Влияние высших гармоник при измерениях частоты в электрических сетях // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2015. № 4(16).
9. Анализ спектрального состава токов в сетях, питающих коммунально-бытовую нагрузку / А. В. Петров, Д. А. Костюков, И. А. Орсаев, А. Ю. Шпигоцкая // Актуальные проблемы инженерных наук: материалы VII (64) ежегодной научно-практической конференции преподавателей, студентов и молодых ученых Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука – региону», Ставрополь, 03–29 апреля 2019 года. Ставрополь: Тэсэра, 2019. С. 53–59.
10. Petrov A. V., Kostyukov D. A., Zhukov M. V. Investigation of error of express estimation of total harmonic distortion current and voltage with frequency deviation in electric network // Proceedings – 2018: International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2018 (Moscow, 15–18 May 2018). М., 2018. P. 87–137. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2018.8729137>

REFERENCES

1. Petrov A. V., Petrov D. V., Martusenko V. E., Melikhov K. Yu. Modeling of asymmetric modes of three-phase four-wire networks using load graphs obtained on the basis of harmonic synthesis. Actual problems of electric power industry, electronics and nanotechnology: Materials of the IVth annual scientific and practical conference of the North Caucasian Federal University, Stavropol, April 04-30, 2016. Stavropol: Tesera Publishing House, 2016. P. 91-96. (In Russ.).
2. Volynceva O., Shelyug S. Consideration influence of unbalanced and non-sinusoidal currents on calculation losses of the electric power in electrical systems 0,4 kV. Electric power industry through the eyes of youth - 2018: Proceedings of the IX International Youth Scientific and Technical Conference. In 3 volumes, Kazan, October 01-05, 2018. Managing editor E.V. Shamsutdinov. Volume 1. Kazan: Kazan State Power Engineering University, 2018. P. 99-102. (In Russ.).
3. Abramenko A. P., Kubasov T. I. Voltage asymmetry in distribution networks 0.4 kV. Electricity. Transfer and distribution. 2020;1(58):40-43. (In Russ.).
4. Chernykh A. G., Buzunov A. S. Application of the method of symmetrical components for the calculation of asymmetric operating modes of three-phase networks. Education and science for the XXI century-2015, Sofia, October 17–25, 2015. Sofia: Bialgrad-BG OOD; 2015. P. 56-64. (In Russ.).
5. Bessonov L. A. Theoretical foundations of electrical engineering. Electrical circuits. 9th ed., revised. and additional. M.: Higher School; 1996. (In Russ.).
6. Kobozev V. A., Kovalenko P.V. Calculation of complex indicators of voltage asymmetry in electrical networks. News of higher educational institutions. Electromechanics. 2004;4:50-53. (In Russ.).

7. Gula I. V., Trotsishin I. V., Voityuk A. P. Modern methods for measuring the phase shift and possible ways to improve accuracy due to redundancy. Measuring and computer technology in technological processes. 2012; 3(41): 57-60. (In Russ.).
8. Elinov D. A., Biryukova O. V., Chernetsov M. V. Influence of higher harmonics during frequency measurements in electrical networks. Models, systems, networks in economics, technology, nature and society. 2015; 4(16). (In Russ.).
9. Petrov A. V., Kostyukov D. A., Orsaev I. A., Shpigotskaya A. Yu. Analysis of the spectral composition of currents in networks supplying a domestic load. Actual problems of engineering sciences: Materials of the VIIth (64) the annual scientific-practical conference of teachers, students and young scientists of the North Caucasian Federal University "University Science for the Region", Stavropol, April 03-29, 2019. Stavropol: Tesera Publishing House, 2019. P. 53-59. (In Russ.).
10. Petrov A. V., Kostyukov D. A., Zhukov M. V. Investigation of error of express estimation of total harmonic distortion current and voltage with frequency deviation in electric network. Proceedings-2018. International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2018, Moscow, May 15-18, 2018. Moscow, 2018. P. 87-137. DOI 10.1109/ICIEAM.2018.8729137.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Виталий Евгеньевич Мартусенко – старший преподаватель кафедры автоматизированных электроэнергетических систем и электроснабжения Инженерного института Северо-Кавказского федерального университета. Researcher ID: ISS-8247-2023

Юрий Юрьевич Дедешко – студент кафедры автоматизированных электроэнергетических систем и электроснабжения Инженерного института Северо-Кавказского федерального университета. Researcher ID: ISS-8620-2023

Дмитрий Евгеньевич Минаев – студент кафедры автоматизированных электроэнергетических систем и электроснабжения Инженерного института Северо-Кавказского федерального университета. Researcher ID: ISS-8708-2023

ВКЛАД АВТОРОВ

Виталий Евгеньевич Мартусенко

Проведение исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных.

Утверждение окончательного варианта – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Юрий Юрьевич Дедешко

Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне.

Дмитрий Евгеньевич Минаев

Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vitaly E. Martusenko – Senior Lecturer of the Department of Automated Electric Power Systems and Power Supply, Engineering Institute, North-Caucasus Federal University. Researcher ID: ISS-8247-2023

Yury Yu. Dedeshko – Student of the Department of Automated Electric Power Systems and Power Supply, Engineering Institute, North-Caucasus Federal University. Researcher ID: ISS-8620-2023

Dmitry E. Minaev – Student of the Department of Automated Electric Power Systems and Power Supply, Engineering Institute, North-Caucasus Federal University. Researcher ID: ISS-8708-2023

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Vitaly E. Martusenko

Conducting a study is the collection, interpretation and analysis of the data obtained.

The approval of the final version is the acceptance of responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version.

Yury Yu. Dedeshko

Preparation and editing of the text – drafting of the manuscript and the formation of its final version, participation in scientific design.

Dmitry E. Minaev

Preparation and editing of the text – drafting of the manuscript and the formation of its final version, participation in scientific design.