

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 10/0,4 кВ

А. Н. Кагдин, М. Ю. Авдеева, Д. А. Джапарова

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор Д. Ю. Муромцев

Ключевые слова и фразы: качество электрической энергии; моделирование электрических сетей; несимметрия напряжений и токов; распределительные электрические сети.

Аннотация: Рассмотрены вопросы моделирования сельских распределительных сетей 10/0,4 кВ, приведены способ их расчета, основные недостатки и пример использования современных математических пакетов для моделирования сетей повышенной сложности. Даны описания метода симметричных составляющих, границы его применения, сложности при появлении специальных электрических устройств, таких как фазоповоротные трансформаторы. Показаны преимущества использования математических пакетов для моделирования сетей, работающих в несимметричном режиме.

Электроэнергия нуждается в обязательной сертификации и при этом обладает целым рядом особенностей, в числе которых неразрывность и одновременность процессов производства и потребления [1]. Транспортировка электроэнергии осуществляется за счет расхода определенной части самой продукции, то есть потери электроэнергии при ее передаче неизбежны. Первоочередной задачей экономии ресурсов сельской электроэнергетики является снижение потерь электроэнергии в сельских распределительных электрических сетях, которые достигают 50 % общего отпуска электроэнергии сельскому хозяйству [2].

Одним из основных факторов, оказывающих влияние на качество и потери электрической энергии при ее передаче от производителя к потребителю является несимметрия фазных токов и напряжений, возникающих по причине преобладания однофазной бытовой нагрузки. Наибольшее распространение получил метод расчета потерь мощности и энергии в электрических сетях при несимметричной нагрузке, основанный на ме-

Кагдин Алексей Николаевич – аспирант кафедры «Электроэнергетика», e-mail: lexey90@yandex.ru; Авдеева Мария Юрьевна – аспирант кафедры «Коммерция и бизнес-информатика»; Джапарова Динара Амангельдиевна – аспирант кафедры «Электроэнергетика», ТамбГТУ, г. Тамбов.

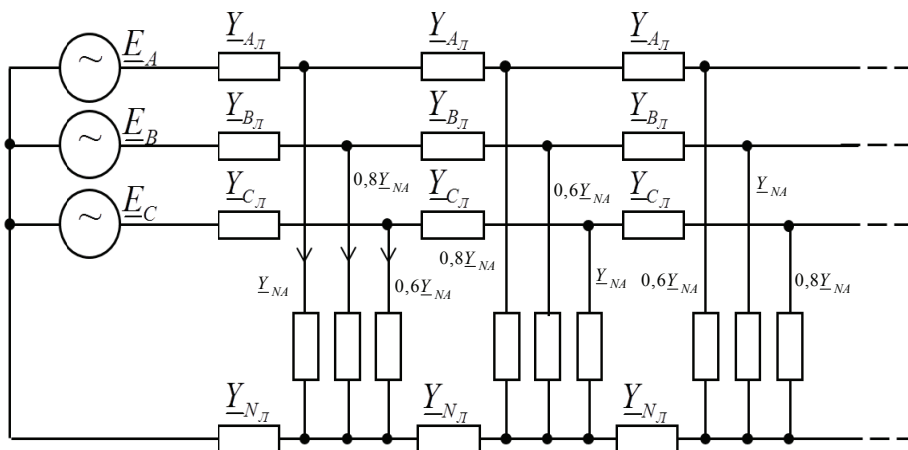


Рис. 1. Линия с равномерно распределенными по фазам однофазными потребителями различной мощности

тоде симметричных составляющих. Линию 0,4 кВ с равномерно распределенными по фазам однофазными потребителями различной мощности (рис. 1) можно рассматривать как линию с несколькими распределенными симметричными трехфазными приемниками, образованными тремя группами однофазных различной мощности, нулевая точка которых присоединена к нулевому проводу [3].

Любой несимметричный трехфазный приемник можно заменить эквивалентным симметричным и двумя однофазными потребителями, которые включены на фазные напряжения. Условием эквивалентности данной замены является равенство напряжений и токов на зажимах потребителей, а для эквивалентных схем несимметричных трехфазных потребителей – равенство комплексов пульсирующих мощностей [4].

В общем случае несимметричной трехфазной системы фазных напряжений на зажимах несимметричного приемника являются выражения для фазных токов [5]:

$$\underline{I}_A = \underline{U}_A \underline{Y}_{NA}, \quad \underline{I}_B = \underline{U}_B \underline{Y}_{NB}, \quad \underline{I}_C = \underline{U}_C \underline{Y}_{NC},$$

где $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$ – фазные напряжения; $\underline{Y}_{NA}, \underline{Y}_{NB}, \underline{Y}_{NC}$ – проводимости фазных проводов.

Потери мощности характеризуются коэффициентом

$$K_P = \frac{\Delta P_H}{\Delta P_1} = 1 + K_{2i}^2 + K_{0i}^2 \frac{R_0}{R_1},$$

где P_H, P_1 – потери мощности при несимметричной нагрузке и обусловленные токами прямой последовательности соответственно; $K_{2i} = I_2/I_1$, $K_{0i} = I_0/I_1$ – коэффициенты обратной и нулевой последовательностей токов соответственно; R_0, R_1 – активные сопротивления нулевой и прямой последовательностей для участка сети; I_1, I_2, I_0 – токи прямой, обратной и нулевой последовательностей на том же участке сети.

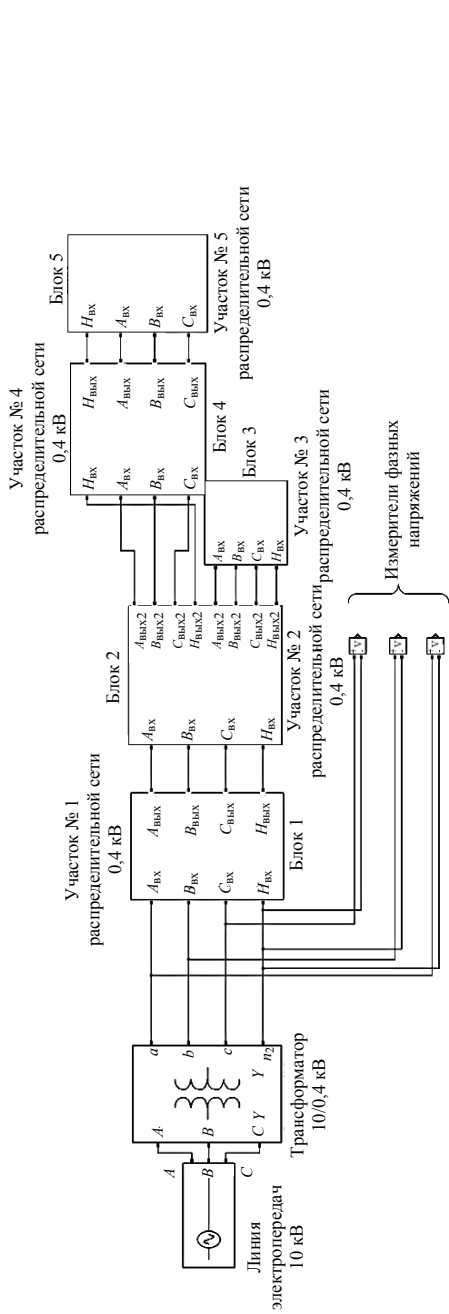


Рис. 2. Модель распределительной электрической сети 10/0,4 кВ

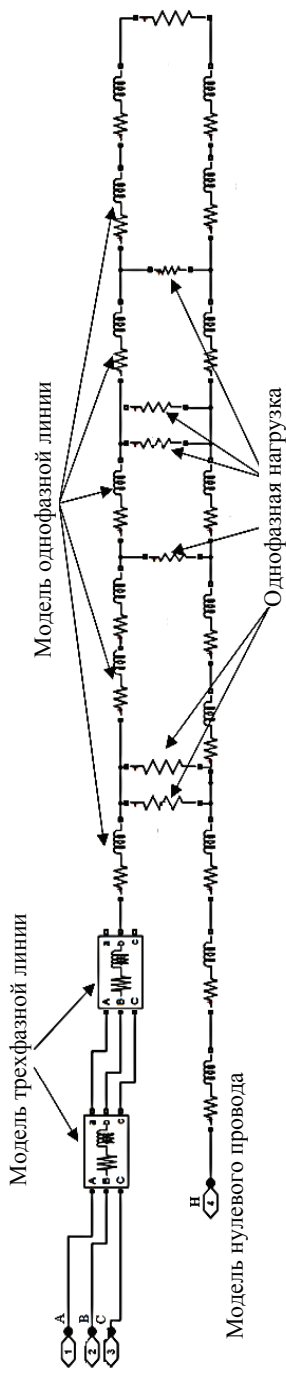


Рис. 3. Модель (модуль) распределительной электрической сети 0,4 кВ с однофазной нагрузкой

Относительные значения фазных потерь напряжения на некотором участке сети определяются следующим образом:

$$\begin{cases} \underline{\delta}_A = \underline{\Delta U}_A / \underline{\Delta U}_1 = 1 + \underline{K}_{2i} + \underline{K}_{0i} \underline{K}_Z; \\ \underline{\delta}_B = \underline{\Delta U}_B / \underline{\Delta U}_1 = \underline{a}^2 + \underline{a} \underline{K}_{2i} + \underline{K}_{0i} \underline{K}_Z; \\ \underline{\delta}_C = \underline{\Delta U}_C / \underline{\Delta U}_1 = \underline{a} + \underline{a}^2 \underline{K}_{2i} + \underline{K}_{0i} \underline{K}_Z, \end{cases}$$

где $\underline{\Delta U}_A$, $\underline{\Delta U}_B$, $\underline{\Delta U}_C$ – комплексы фазных потерь напряжения на участке сети; $\underline{\Delta U}_1$ – комплекс фазной потери напряжения прямой последовательности на участке сети; \underline{K}_{2i} , \underline{K}_{0i} – комплексные коэффициенты обратной и нулевой последовательностей токов; \underline{I}_1 , \underline{I}_2 , \underline{I}_0 – комплексы токов прямой, обратной и нулевой последовательностей; $\underline{a} = e^{j(2\pi/3)}$ – комплексный множитель поворота вектора на 120°.

Метод симметричных составляющих имеет ограниченное применение для несимметричных электрических сетей, что связано со значительным усложнением схем замещения при росте числа несимметрий в электроэнергетической системе. Сложности возникают при использовании метода для специальных трансформаторов, например, фазоворотных, применяемых в управляемых самокомпенсирующихся линиях электропередачи повышенной пропускной способности [6].

Использование математических пакетов специализированных программ позволяет детализировать задачу и достичь приемлемой точности расчетов [7]. Пример моделирования распределительной электрической сети 10/0,4 кВ приведен на рис. 2, где показана принципиальная электрическая схема, построенная с использованием пакета SimPowerSystems в математической программе MatLAB 7.0 [8, 9]. Характерной особенностью схемы является модульность построения, где каждый модуль (участок) содержит элементы схемы замещения линии электропередач и нагрузки (рис. 3). Использование подобного модульного механизма представления распределительной электрической сети позволяет исследовать электрическую схему любой сложности [10]. Точность полученных данных зависит от правильности построения схемы замещения.

Список литературы

1. Горюнов, И. Т. Проблемы обеспечения качества электрической энергии / И. Т. Горюнов, В. С. Мозгалёв, В. А. Богданов // Электрические станции. – 2001. – № 1. – С. 16 – 20.
2. Антипов, К. М. Задачи предприятий и организаций Минэнерго СССР по снижению расхода электроэнергии на ее передачу по электрическим сетям / К. М. Антипов // Энергетик. – 1979. – № 6. – С. 2–3.
3. Свергун, Ю. Ф. Моделирование несимметричного режима сельской воздушной электрической сети 0,38/0,22 кВ / Ю. Ф. Свергун, А. А. Мирошник // Проблемы региональной энергетики. – 2010. – № 3(14). – С. 17 – 24.

4. Косоухов, Ф. Д. Расчет падений напряжений и потерь мощностей в сельских распределительных сетях при несимметрии токов / Ф. Д. Косоухов. – Л. : Изд-во ЛСХИ, 1982. – 74 с.
5. Панфилов, Д. И. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: практикум на Electronic Workbench. В 2 т. Т. 1: Электротехника / Д. И. Панфилов, В. С. Иванов, И. Н. Чепурин ; под ред. Д. И. Панфилова. – М. : ДОДЭКА, 1999. – 304 с.
6. Закарюкин, В. П. Моделирование предельных режимов электроэнергетических систем с учетом продольной и поперечной несимметрии / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, Е. А. Крюков. – Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2006. – 139 с.
7. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М. : ДМК Пресс ; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.
8. Кочергин, С. В. Актуальные вопросы моделирования развития электроэнергетических систем / С. В. Кочергин, А. В. Кобелев, Н. А. Хребтов // *Fractal simulation*. Бюллетень Центра фрактального моделирования. – 2011. – № 2. – С. 35 – 38.
9. Кочергин, С. В. Нейронные сети и фрактальное моделирование электроэнергетических систем / С. В. Кочергин, А. В. Кобелев, Н. А. Хребтов // *Fractal simulation*. Бюллетень Центра фрактального моделирования. – 2012. – № 1. – С. 6 – 15.
10. Лурье, М. С. Электротехника. Имитационное моделирование в лабораторном практикуме, курсовом и дипломном проектировании : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2 / М. С. Лурье, О. М. Лурье. – Красноярск : СибГТУ, 2006. – 103 с.

References

1. Goryunov I.T., Mozgalev B.C., Bogdanov V.A. *Power Technology and Engineering*, 2001, no. 1, pp. 16-20.
2. Antipov K.M. *Energetik*, 1979, no. 6, pp. 2-3.
3. Svergun Yu.F., Miroshnik A.A. *Problemy regional'noi energetiki*, 2010, no. 3(14), p. 17-24.
4. Kosoukhov F.D. *Raschet padenii napryazhenii i poter' moshchnostei v sel'skikh raspredelitel'nykh setyakh pri nesimmetrii tokov* (Calculation of the voltage drop and power loss in rural distribution networks with current unbalance), Leningrad: Izdatel'stvo LSKhI, 1982, 74 p.
5. Panfilov D.I. (Ed.), Ivanov V.S., Chepurin I.N. *Elektrotekhnika i elektronika v eksperimentakh i uprazhneniyakh: praktikum na Electronic Workbench* (Electrical and electronics experiments and exercises: Workshop on Electronic Workbench), vol. 1 of 2, Moscow: DODEKA, 1999, 304 p.
6. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Kryukov E.A. *Modelirovanie predel'nykh rezhimov elektroenergeticheskikh sistem s uchetom prodol'noi i poperechnoi nesimmetrii* (Simulation limit modes of electric power systems, taking into account longitudinal and transverse asymmetry), Irkutsk: ISEM SO RAN, 2006, 139 p.
7. Chernykh I.V. *Modelirovanie elektrotekhnicheskikh ustroystv v MATLAB, SimPowerSystems i Simulink* (Modeling of electrical devices in MATLAB, SimPowerSystems and Simulink), Moscow: DMK Press ; St. Petersburg: Piter, 2008, 288 p.
8. Kochergin S.V., Kobelev A.V., Khrebtov N.A. *Fractal Simulation. Newsletter of the Fractal Simulation Center*, 2011, no. 2, pp. 35-38.

9. Kochergin S.V., Kobelev A.V., Khrebtov N.A. *Fractal Simulation. Newsletter of the Fractal Simulation Center*, 2012, no. 1, pp. 6-15.

10. Lur'e M.S., Lur'e O.M. *Elektrotehnika. Imitatsionnoe modelirovanie v laboratornom praktikume, kursovom i diplomnom proektirovanii* (Electrical Engineering. Simulation in the laboratory workshop, course and degree designing), vol. 2 of 2, Krasnoyarsk: SibGTU, 2006, 103 p.

Modeling of Electricity Distribution Networks 10/0.4 kV

A. N. Kagdin, M. Yu. Avdeeva, D. A. Dzhaparova

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: asymmetry of voltages and currents; electric distribution network; modeling of electric networks; quality of electrical energy.

Abstract: The paper is devoted to modeling of rural distribution networks 10/0.4 kV. The paper deals with the method of calculation of the rural distribution network and its main shortcomings, and offers an example of the use of modern mathematical software packages for modeling of high complexity networks. It describes a method of symmetrical components, the boundaries of their application, the complexities of special electrical devices (such as phase rotation transformers). It deals with the advantages of the use of mathematical software packages for modeling of networks operating in a single-ended mode.

© А. Н. Кагдин, М. Ю. Авдеева, Д. А. Джапарова, 2014