

- себестоимости продукции теплоэнергетических и теплотехнических производств в современных условиях / М. П. Малашенко [и др.] // Энергоэффективность. – 2019. – № 8. – С. 8–15.
4. Попырин, Л. С. Эффективность технического перевооружения ТЭЦ на базе парогазовых установок / Л. С. Попырин, М. Д. Дильман // Теплоэнергетика. – 2006. – № 2. – С. 34–39.
 5. К вопросу оценки термодинамической эффективности Белорусской энергосистемы / Е. О. Воронов [и др.] // Энергия и менеджмент. – 2016. – № 3 (90). – С. 2–7.
 6. Бродянский, В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский. – М. : Энергия, 1973. – 296 с.
 7. Бродянский, В. М. Эксергетический метод и его приложения / В. М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
 8. Шаргут, Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела. – М. : Энергия, 1968. – 273 с.
 9. Сорин, М. В. Методика однозначного определения эксергетического КПД технических систем преобразования энергии и вещества / М. В. Сорин, В. М. Бродянский // Изв. вузов. Энергетика. – 1985. – № 3. – С. 78–88.
 10. Kriese, S. Exergie in der Kraftwerkstechnik. Leistungskraftwerke-Dampfkraftwerke-Gasturbinen-Warme-Kraft-Kopplung / S. Kriese. – Essen : Vulkan. – 1971. – 148 с.
 11. Mujanovic, R. Bila s parnog bloka po drugom zakonu termodinamike / R. Mujanovic // Termotechnika. – 1977. – N 3. – P. 56–67.
 12. Pruschek, R. Exergetische Analyse eines Kernkraftwerke / R. Pruschek // BWK. – 1970. – N 1. – P. 6–70.
 13. Siegel, K. Exergieanalyse heterogenen Leistungsreaktoren / K. Siegel // BWK. – 1970. – N 9. – P. 434–440.

УДК 621.3.018.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В. М. Шакин, А. О. Добродей

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрены разработанные авторами научно-технические решения по моделированию перенапряжений в электрических сетях. Поставленную задачу предполагается решать при помощи ЭВМ с использованием программного пакета NI Multisim 14.0 [1].

Моделирование в электроэнергетике позволяет заменить сложные, а иногда и невозможные эксперименты на реальных объектах экспериментированием на их моделях.

Для исследования перенапряжений в электрических сетях необходимо провести ряд экспериментов, чтобы получить данные о перенапряжениях, которые могут возникнуть в исследуемой сети, а также опробовать различные методы предупреждения и подавления возникающих перенапряжений.

Ключевые слова: моделирование в электроэнергетике, исследования перенапряжений в электрических сетях, программный пакет NI Multisim 14.0.

MODELING OF OVERVOLTAGES IN POWER DISTRIBUTION NETWORKS

V. M. Shakin, A. O. Dobrodey

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

In the paper the scientific and technical solutions developed by the authors of modeling overvoltages in electric networks are considered. It is assumed to solve this problem by computer using the software package NI Multisim 14.0 [1].

86 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

Modeling in the electric power industry allows replacing complex and sometimes impossible experiments on real objects by experiments on their models.

To study overvoltages in electrical networks, it is necessary to perform a number of experiments to obtain data on overvoltages that may occur in the network under study, as well as to try out different methods for preventing and suppressing the arising overvoltages.

Keywords: modeling in the electric power industry, studies of overvoltages in electric networks, NI Multisim 14.0 software package.

Для исследования перенапряжения выберем воздушную линию электропередач длиной 40 км. Линия выполнена проводом АС-150. Диаметр провода $d = 17,1$ мм. Удельное активное сопротивление $r_0 = 0,198$ Ом/км. Удельное индуктивное сопротивление $x_0 = 0,406$ Ом/км. На рис. 1 показаны применяемые изолирующие траверсы с обозначением расстояний между проводами [2].

Найдем активное и индуктивное сопротивление линии и емкостную проводимость [2].

Активное сопротивление линии будет равно:

$$R_{\text{л}} = r_0 l = 0,198 \cdot 40 = 7,92 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление линии равно:

$$X_{\text{л}} = x_0 l = 0,406 \cdot 40 = 16,24 \text{ Ом.}$$

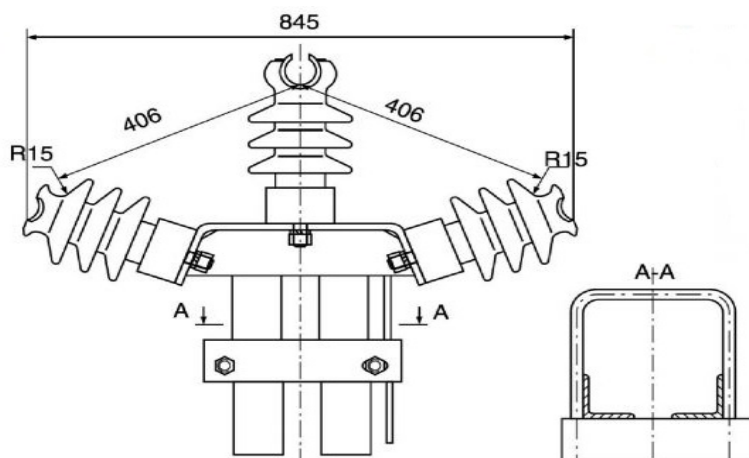


Рис. 1. Изолирующие траверсы для линии энергопередач

Индуктивность линии будет равна:

$$L = \frac{X}{2\pi f} = \frac{16,24}{2\pi \cdot 50} = 0,052 \text{ Гн.}$$

Емкостная проводимость равна:

$$B_{\text{л}} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6} \cdot l}{\lg(D/r)},$$

где D – среднее геометрическое расстояние между проводами.

В нашем случае среднее расстояние между проводами будет равно:

$$D = \sqrt[3]{D_{12}D_{13}D_{23}} = \sqrt[3]{0,406 \cdot 0,406 \cdot 0,845} = 0,517 \text{ м.}$$

В результате получим:

$$B_{л} = \frac{7,58 \cdot 10^{-6} \cdot 40}{\lg(0,517 / 0,00855)} = 1,702 \cdot 10^{-4} \text{ См.}$$

Емкость линии будет равна:

$$C_{л} = \frac{B_{л}}{2\pi f} = \frac{1,702 \cdot 10^{-4}}{2\pi 50} = 0,542 \text{ мкФ.}$$

Проведем моделирование перенапряжений в электрических сетях для системы заземления TN-C [3]. На рис. 2 показана схема для моделирования однофазного замыкания на землю в системе TN-C. Для этой системы функциональный ноль и защитный проводник объединены на всем протяжении – используется четырехпроводная система. Нейтраль генератора при этом глухо заземлена [3].

Запустим моделирование в программном пакете NI Multisim 14.0 и получим осциллограмму напряжений в фазе, в которой произошло замыкание и в одной из рабочих фаз [1]. Полученная осциллограмма показана на рис. 3.

Коэффициент перенапряжения будет равен:

$$K = \frac{18148}{14277} = 1,27.$$

Длительность перенапряжения будет равна 0,063 с.

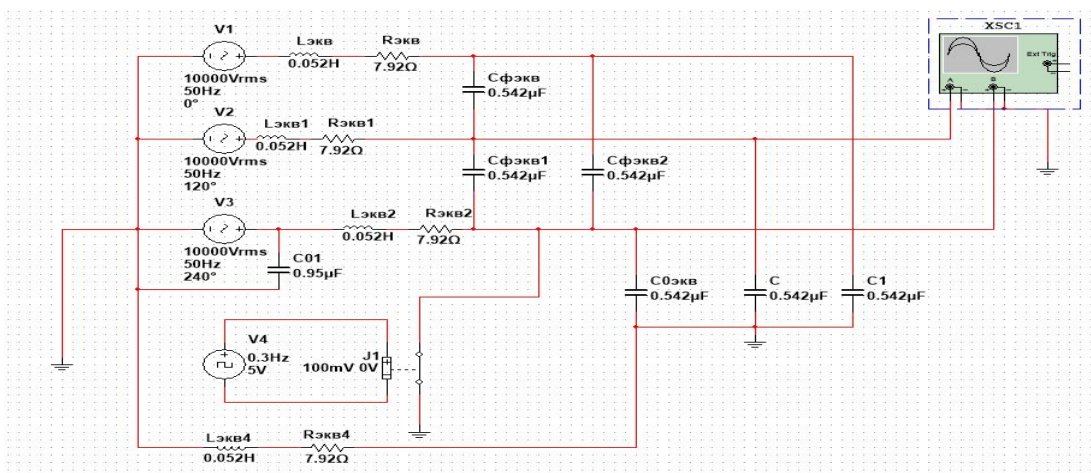


Рис. 2. Схема для моделирования перенапряжений при системе заземления TN-C

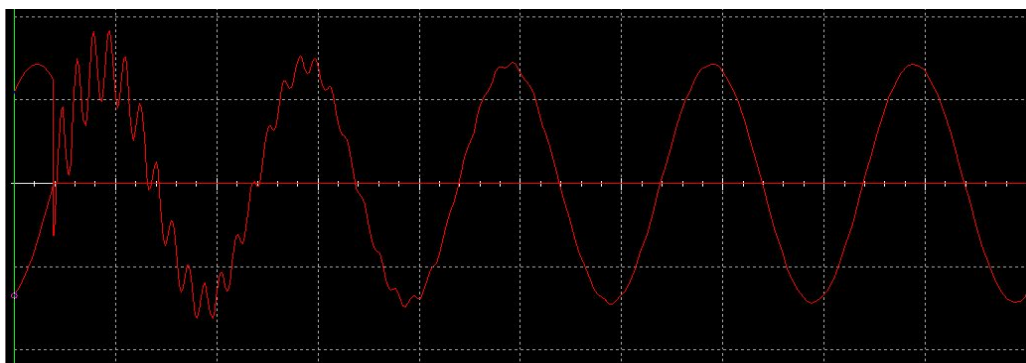


Рис. 3. Осциллограмма перенапряжений для системы TN-C

Для защиты от перенапряжения применим резистивное заземление нейтрали генератора. Для сопротивления, равного 20 Ом, получим осциллограмму, показанную на рис. 4.

Коэффициент перенапряжения будет равен:

$$K = \frac{16858}{14254} = 1,18.$$

Коэффициент перенапряжения снизился, но при этом величина перенапряжения остается стабильной на все время замыкания.

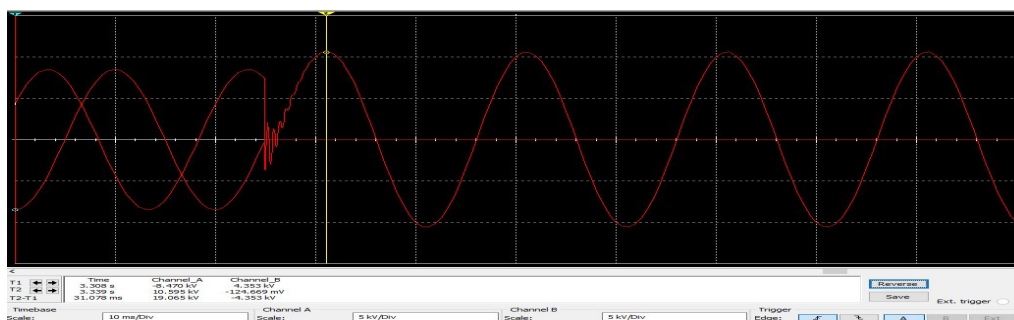


Рис. 4. Осциллограмма перенапряжений для системы TN-C при заземлении нейтрали через резистор 20 Ом

Для сопротивления, равного 5 Ом, получим осциллограмму, показанную на рис. 5.

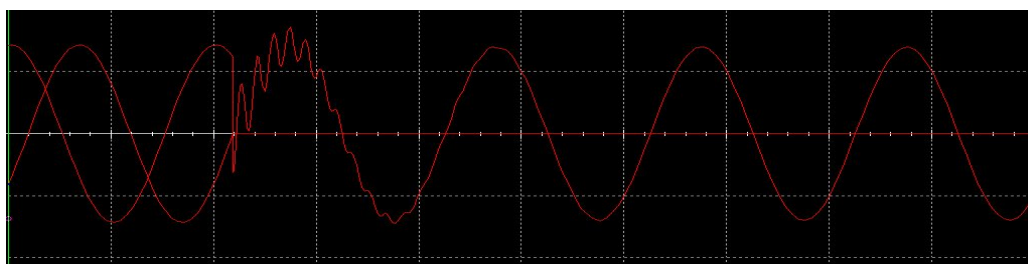


Рис. 5. Осциллограмма перенапряжений для системы TN-C при заземлении нейтрали через резистор 5 Ом

Коэффициент перенапряжения будет равен:

$$K = \frac{16927}{13919} = 1,21.$$

Коэффициент перенапряжения снизился, длительность перенапряжения – 0,04 с.

С целью исследования влияния и ограничения перенапряжений был проведен ряд экспериментов в программном пакете NI Multisim 14.0 [1]. При переходных процессах в момент замыкания одной из фаз на землю получены осциллограммы перенапряжений в различных режимах работы моделируемой сети. По полученным осциллограммам рассчитаны кратности перенапряжения и длительности перенапряжений. В качестве мероприятия по уменьшению уровня перенапряжения при однофазном замыкании на землю предложено резистивное заземление нейтрали [3].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в системе заземления TN-C имеет смысл использовать заземление нейтрали через резистор. При этом сопротивление резистора должно быть меньше сопротивления линии.

Л и т е р а т у р а

1. Руководство Multisim / National Instruments Corporation. – 2007. – 491 с.
2. Защита сетей 6–35 кВ от перенапряжений / Г. А. Евдокунин [и др.] ; под ред. Ф. Х. Халилова, Г. А. Евдокунина, А. И. Таджибаева. – СПб. : Энергоатомиздат. С.-Петербург. отд-ние, 2002. – 272 с.
3. СТП 09110.20.187–09. Методические указания по заземлению нейтрали сетей 6–35 кВ через резистор. – ГПО «Белэнерго», 2009. – 69 с.

УДК 621.316.99:621.3.052.32:621.316.1:621.3.027.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

М. В. Каминский, А. О. Добродей

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Приведены результаты моделирования перенапряжений в сети 10 кВ в программном комплексе Multisim для различных режимов работы нейтрали. Получены осциллограммы фазных напряжений для сетей с изолированной и заземленной через резистор нейтральями. Произведен расчет кратности перенапряжений в сети 10 кВ. Наглядно показана необходимость применения резистивного заземления нейтрали для снижения кратности перенапряжений в сети.

Ключевые слова: изолированная нейтраль, однофазное замыкание на землю, перенапряжения, резистивное заземление нейтрали, моделирование перенапряжений.

MODELING OF OVERVOLTAGES

M. V. Kaminsky, A. O. Dobrodey

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The results of modeling overvoltages in a 10 kV network in the Multisim software package for various neutral operating modes are presented. Waveforms of phase voltages for networks with isolated and grounded through a resistor neutral are obtained. The multiplicity of overvoltages in the 10 kV network has been calculated. The necessity of resistive grounding of the neutral to reduce the multiplicity of overvoltages in the network is clearly shown.