

Рис. 2. Суммарная мощность солнечных электрических станций Республики Беларусь

Исследования показывают, что в Республике Беларусь сложились благоприятные условия инсоляции: более чем на 10 % выше, чем в Польше, Нидерландах; более чем на 17 % выше, чем в Германии, Бельгии, Дании, Ирландии, Великобритании; еще выше относительно стран, расположенных севернее и северо-западнее Республики Беларусь.

#### Литература

1. Альтернативная энергетика. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Альтернативная\\_энергетика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Альтернативная_энергетика). – Дата доступа: 01.03.2023.
2. Что такое альтернативные источники энергии. – Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/green/609e76449a7947f4755ac9dc#p2>. – Дата доступа: 01.03.2023.
3. Statistical Review of World Energy 2021 | 70th edition. – Режим доступа: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>. – Дата доступа: 01.03.2023.
4. Энергетика Белоруссии. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. – Дата доступа: 02.03.2023.
5. Килловаты света: плюсы, минусы и перспективы солнечной энергетики в Беларуси. – Режим доступа: <https://www.belta.by/comments/view/kilovatty-sveta-pljusy-minusy-i-perspektivy-solnechnoj-energetiki-v-belarusi-7643>. – Дата доступа: 03.03.2023.
6. IRENA Renewable capacity statistics 2022. – Режим доступа: [https://energobelarus.by/articles/alternativnaya\\_energetika/solnechnaya\\_energetika\\_sostoyanie\\_i\\_perspektivy\\_ee\\_ispolzovaniya\\_v\\_respublike\\_belarus/](https://energobelarus.by/articles/alternativnaya_energetika/solnechnaya_energetika_sostoyanie_i_perspektivy_ee_ispolzovaniya_v_respublike_belarus/). – Дата доступа: 04.03.2023.
7. Солнечная энергетика: состояние и перспективы использования в Беларуси. – Режим доступа: [https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2022.pdf](https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2022.pdf). – Дата доступа: 05.03.2023.

УДК 621.316

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В. М. Шакин

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

Научный руководитель А. О. Добродей

*Рассмотрен вариант моделирования перенапряжений при замыкании на землю в электрических сетях с использованием программного комплекса NI Multisim 14.0, получены осциллограммы напряжений и рассчитаны кратности перенапряжений.*

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

## SIMULATION OF OVERVOLTAGE DURING GROUND FAULT IN ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS

V. M. Shakin

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

Science supervisor A. O. Dobrodey

*The article considers a variant of the simulation of overvoltage during ground fault in electrical networks using the NI Multisim 14.0 software package, voltage waveforms are obtained and overvoltage multiplicities are calculated.*

**Keywords:** modeling in the electric power industry, overvoltage studies in electrical networks, NI Multisim 14.0 software package.

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

Цель работы – моделирование перенапряжений в электрических сетях и оценка их уровня.

Перенапряжение – всякое превышение мгновенным значением напряжения амплитуды наибольшего рабочего напряжения [1]. Основные характеристики перенапряжения: максимальное значение; кратность перенапряжения – отношение максимального значения напряжения к амплитуде наибольшего рабочего напряжения  $K = U_{\max} / \sqrt{2}U_{\text{нр}}$ ; время нарастания; длительность; число импульсов в перенапряжении; форма кривой перенапряжения; ширина охвата сети; повторяемость перенапряжения.

Перенапряжения, возникающие в электрических сетях, являются одним из факторов, влияющих на надежность электроустановок. Несмотря на кратковременность воздействия, перенапряжения характеризуются высокой кратностью по отношению к длительному рабочему напряжению и воздействием на все электрически связанные элементы системы независимо от места возникновения. Поэтому исследование перенапряжений и разработка мероприятий и устройств защиты от перенапряжений сетей и электрооборудования являются актуальной проблемой для повышения надежности их работы и обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей.

Для исследования перенапряжений в электрических сетях необходимо провести ряд экспериментов, чтобы получить данные о перенапряжениях, которые могут возникнуть в сети, а также опробовать различные методы предупреждения и подавления возникающих перенапряжений. Поставленную задачу предполагается решать при помощи моделирования переходного процесса в электрической сети при замыкании одной из фаз на землю с использованием программного комплекса NI Multisim 14.0, позволяющего производить моделирование, тестирование, разработку и отладку электрических цепей и схем [2].

Для исследования перенапряжений была выбрана одна секция шин РУ-10 кВ подстанции ПС-2 РДУП «Белоруснефть-Промсервис».

С помощью программного комплекса NI Multisim 14.0 произведено моделирование перенапряжения в электрической сети с изолированной нейтралью [3]. Для этого в программе составлена модель с параметрами кабельной линии. Окно программы со схемой замещения исследуемой сети при замыкании фазы *C* на землю представлено на рис. 1.

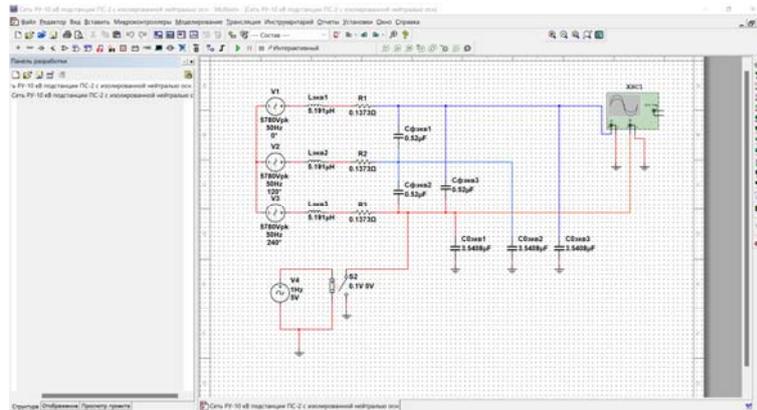


Рис. 1. Схема замещения исследуемой сети при замыкании фазы *C* на землю в программе NI Multisim 14.0

Для сети, представленной на рис. 1 произведено осциллографирование переходного процесса при замыкании фазы *C* на землю. Для этого в схему добавлен генератор импульсов со скважностью 50 % и ключ, который через равные промежутки времени будет закрываться и замыкать фазу *C* на землю. Чтобы получить график переходного процесса подключим к схеме осциллограф [4, 5].

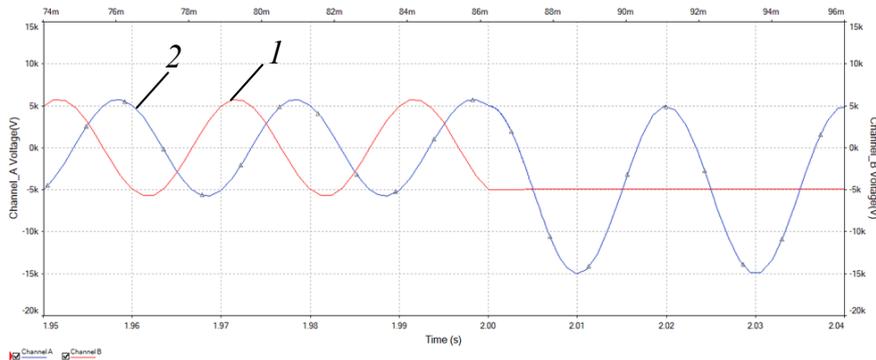


Рис. 2. Осциллограмма переходного процесса при замыкании фазы *C* на землю:  
1 – поврежденная фаза; 2 – не поврежденная фаза

По осциллограмме переходного процесса (рис. 2) при замыкании фазы *C* на землю в сети с изолированной нейтралью зафиксирована амплитуда максимального перенапряжения  $U_{\max} = 14,85$  кВ при амплитуде наибольшего рабочего напряжения  $U_{\text{нр}} = 5,78$  кВ. Кратность перенапряжения составит  $K = 14,85/5,78 = 2,57$ , длительность перенапряжения – 0,427 с.

При резистивном заземлении нейтрали схема и осциллограмма переходного процесса представлены на рис. 3, 4 соответственно.

Кратность перенапряжения при переходном процессе составляет  $K = 12990/5780 = 2,25$ . Кратность перенапряжения в установившемся режиме  $K = 9940/5780 = 1,72$ . Длительность импульса составляет 0,364 с.

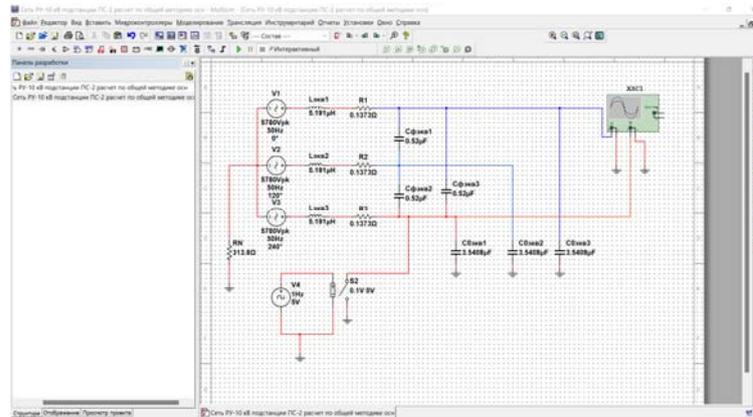


Рис. 3. Схема замещения исследуемой сети с нейтралью, заземленной через резистор

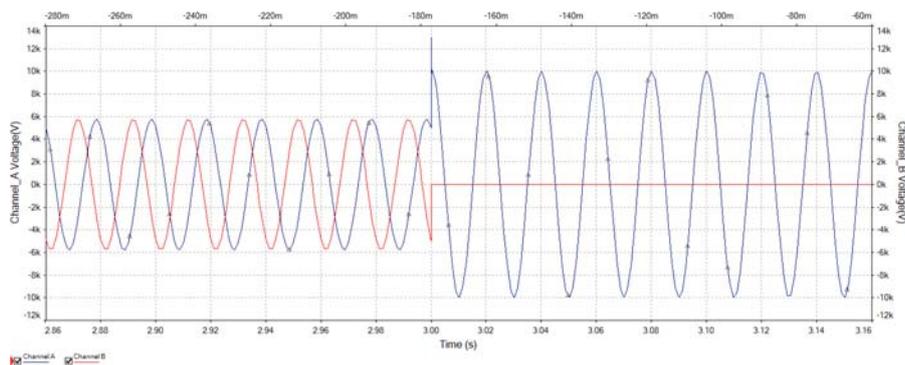


Рис. 4. Осциллограмма переходного процесса в сети с нейтралью, заземленной через резистор

Применение резистивного заземления нейтрали позволило снизить величину перенапряжения и уменьшило длительность его протекания, тем самым сократив время негативного воздействия на изоляцию кабеля.

Таким образом, в результате моделирования переходных процессов, возникающих в сети с изолированной нейтралью при замыкании одной из фаз на землю, были получены осциллограммы напряжений и рассчитаны кратности перенапряжений. Для снижения кратности перенапряжения было предложено резистивное заземление нейтрали сети. При применении резистивного заземления нейтрали снизилась кратность перенапряжения и уменьшилась длительность протекания перенапряжения с 0,427 с до 0,364 с.

#### Л и т е р а т у р а

1. Закарюкин, В. П. Техника высоких напряжений : конспект лекций / В. П. Закарюкин. – Иркутск : ИрГУПС, 2005. – 137 с.
2. Руководство Multisim/National Instruments Corporation. – 2007. – 491 с.
3. Каминский, М. В. Моделирование перенапряжений / М. В. Каминский, А. О. Добродей // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2022. – № 3. – С. 72–80.

4. Шакин, В. М. Моделирование перенапряжений в распределительных электрических сетях / В. М. Шакин, А. О. Добродей // Современные проблемы машиноведения : сб. науч. тр. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь [и др.] ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – Ч. 2. – С. 85–89.
5. Каминский, М. В. Моделирование перенапряжений / М. В. Каминский, А. О. Добродей // Современные проблемы машиноведения : сб. науч. тр. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь [и др.] ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – Ч. 2. – С. 89–92.

УДК 621.315.1:0049-047.36

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

А. А. Белаш

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

Научные руководители: С. Г. Жуковец, Т. В. Алферова

*Рассмотрены перспективы использования беспилотных летательных аппаратов для мониторинга воздушных линий электропередач на труднодоступных участках. Приведены основные методы мониторинга линий электропередач.*

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, методы мониторинга, цифровые снимки, дефекты участков линий электропередач.

## PROSPECTS OF USING UAVS FOR MONITORING OVERHEAD POWER LINES

A. A. Belash

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

Science supervisors: S. G. Zhukovets, T. V. Alferova

*The prospects of using UAVs for monitoring overhead power lines in hard-to-reach areas are considered. The main methods of monitoring power lines are given.*

**Keywords:** UAVs, monitoring methods, digital images, defects of transmission line sections.

Линия электропередач (ЛЭП) – один из важнейших компонентов электрической сети, который является наиболее аварийным элементом системы в целом. Важнейшее мероприятие, позволяющее следить за нормальным состоянием эксплуатируемых элементов ЛЭП, – мониторинг.

Основные задачи, которые ставятся в мониторинге воздушных ЛЭП:

– информирование о нештатных ситуациях на ЛЭП. Это могут быть разные аварийные случаи, которые тем или иным образом будут негативно сказываться на передаче и распределении электроэнергии (упала опора, оборвался кабель, поврежден изолятор);

– оценка текущего технического состояния элементов ЛЭП. Это помогает следить за состоянием элементов ЛЭП и, исходя из этого, принимать решения по техническому обслуживанию, диагностике и ремонту оборудования;