

УДК 004.021

**АЛГОРИТМЫ ПРОГРАММ АНАЛИЗА  
ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ***Левчук В. Э.*

Донской государственной технической  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[vladimir.levchuk.94@mail.ru](mailto:vladimir.levchuk.94@mail.ru)

Поднимается вопрос разработки алгоритмов программ анализа токов замыкания на землю в распределительных электрических сетях. Сравняется методика выполнения расчетов токов замыкания и токов короткого замыкания. Описывается примерная блок-схема алгоритма и предлагаются дополнительные функциональные возможности для программы по данной блок-схеме, которые соответствуют современному развитию энергетики.

**Ключевые слова:** алгоритм, анализ, программа, замыкание на землю, распределительные сети, электрические сети, токи замыкания.

**Введение.** Одной из технических проблем в городских электрических сетях является обеспечение безопасных условий работы для кабельных линий. В сети с изолированной нейтралью или с компенсацией емкостного тока замыкание одной фазы на землю само по себе не является аварией. Однако с увеличением протяженности электросетей увеличивается их емкость и возрастают токи замыкания на землю. В большинстве случаев повреждение изоляции кабелей происходит под воздействием перенапряжений, возникающих при однофазных замыканиях на землю [1, 2].

Развитие энергетики города неразрывно связано с увеличением количества кабельных линий. Это неизбежно приводит к тому, что электрическая емкость сети и токи однофазного замыкания на землю становятся больше и превышают нормированные значения. Большие токи замыкания на землю могут стать не только причиной развития аварии на поврежденном присоединении, но и впоследствии повредить изоляцию других кабелей, находящихся в работе.

Необходимо регулярно анализировать условия, в которых работают кабельные линии. Теоретические положения по замыканиям на землю и современные компьютерные технологии позволяют исследовать процессы в электрической сети с заданными параметрами и разрабатывать конкретные предложения по снижению негативного влияния однофазных замыканий на надежность работы, как кабельных линий, так и всей сети в целом.

**Сравнение теоретических методов расчета сетей с изолированной нейтралью и заземленной.** Для создания алгоритмов программ анализа токов замыкания на землю в распределительных сетях нужно учесть их отличия от сетей напряжением 110 кВ и выше. Так, к

UDC 004.021

**ANALYSIS PROGRAMS ALGORITHMS OF  
FAULT-TO-GROUND CURRENTS***Levchuk V. E.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[vladimir.levchuk.94@mail.ru](mailto:vladimir.levchuk.94@mail.ru)

The article raises the question of developing algorithms for the analysis of fault-to-ground currents in electrical distribution networks. The paper compares the method of calculation of closing currents and short-circuit currents. It also describes an approximate block diagram of the algorithm and offers additional functionality to the program according to this block diagram, which correspond to the modern development of energy.

**Keywords:** algorithm, analysis, program, ground fault, short circuit, distribution networks, electrical networks, short-circuit currents.

примеру, в распределительных сетях существует необходимость учета активных сопротивлений [1, 3, 4].

В современных сетях с напряжением 110 кВ и выше активные сопротивления настолько малы, по сравнению с индуктивными, что ими обычно пренебрегают и считают полное сопротивление цепи чисто индуктивным:  $z = x$ . Такое допущение практически не сказывается на точности расчетов, но серьезно облегчает их, позволяя все преобразования схем и расчет сопротивлений выполнять арифметически, а не геометрически. Считается, что пренебрегать активным сопротивлением можно, если  $x/r > 3$ , при этом определение тока короткого замыкания без учета активного сопротивления дает ошибку не более 5% [1, 5, 6].

В распределительных сетях индуктивное сопротивление воздушных линий  $x$  составляет 0,3–0,4 Ом/км, активное сопротивление  $r$  для алюминиевых проводов сечением 16–70 мм<sup>2</sup> колеблется в пределах 0,2–0,5 Ом/км; отношение  $x/r$  при этом значительно меньше 3 и колеблется в пределах 0,15–0,6 [1, 7].

Для кабелей, которые на сегодняшний день составляют большую часть городских сетей и все чаще заменяют воздушные линии в черте городской местности, индуктивное сопротивление составляет 0,08 Ом/км и отношение  $x/r$  еще меньше.

Это и другие отличия в расчетах токов замыкания на землю в распределительных сетях от сетей более высокого напряжения предполагают создание совершенно других алгоритмов для анализа токов замыкания на землю от алгоритмов для распределительной сети. При этом сама работа программы не должна разительно отличаться от аналогов для сети более высокого напряжения для удобства адаптации сотрудников.

**Блок-схема программы расчета токов замыкания на землю в распределительных сетях.** Блок-схема должна состоять из следующих элементов (рис. 1) [8]:

1. Ввод исходных данных сети с использованием собранной базы данных для программы. Здесь важной частью является разработка этой базы данных, которая должна хранить, с одной стороны, паспортные данные самого разного оборудования, используемого в данных сетях (кабели напряжения от 0,4 до 35 кВ, реакторы, трансформаторы и т.п.) для упрощения ввода данных и исключения ошибок. Но должна быть, с другой стороны, возможность ввода индивидуальных данных, таких как последовательность элементов сети, длина кабельных линий и т.п. Эти данные должны сохраняться в программе, ускоряя процесс ввода данных, редактироваться при замене оборудования, реконструкции отдельных элементов сети, расширении сети и подключении новых потребителей.

2. Расчет параметров сети, с учетом введенных исходных данных, для дальнейших расчетов.

3. Расчет токов замыкания электрической сети.

4. Сохранение результатов расчетов в базу данных с целью анализа с последующими или предыдущими расчетами.

5. Печать результатов расчета.

Необходимо отметить, что актуально не только создание самого алгоритма расчета токов замыкания на землю в программной оболочке. Современные программы должны анализировать полученные результаты и иметь возможность работать с базами данных.

Авторами предлагается следующая блок-схема программы (рис. 1).



Рис. 1. Блок-схема программы

**Заключение.** Основной задачей разработки алгоритмов программы анализа токов замыкания на землю является создание алгоритмов работы с полученными результатами и базы данных. Это соответствует актуальной концепции создания интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью.

#### Библиографический список

1. Голубев, М. Л. Расчет токов короткого замыкания в электросетях 0,4–35 кВ / М. Л. Голубев. — 2-е изд. перераб. и доп. — Москва : Энергия, 1980. — 88с.
2. Шалин, А. И. Замыкания на землю в сетях 6–35 кВ / А. И. Шалин // Новости электротехники. — 2006. — № 1 (37). — С. 35–38.
3. Назаров, В. В. Нейтраль распределительных сетей 6–35 кВ / В. В. Назаров // Новости электротехники. — 2013. — № 5 (83). — С. 54–55.
4. Фишман, В. С. Способы заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ / В. С. Фишман // Новости электротехники. — 2008. — № 2 (50). — С. 86–90.
5. Титенков С. С. 4 режима заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ. Изолированную нейтраль объявим вне закона / С. С. Титенков // Новости электротехники. — 2003. — № 5 (23). — С. 28–32.
6. Демиденко, Е. Однофазные замыкания на землю в сетях 6–10 кВ с резистивно-заземлённой нейтралью / Е. Демиденко, А. Солончев, В. Гудым // Новости электротехники. — 2013. — № 4 (82). — С. 34–36.
7. Эрнст, А. Д. Вопросы компенсации ёмкостного тока замыкания на землю в сетях 6–10 кВ энергоёмких предприятий / А. Д. Эрнст, П. Н. Матвиенко, Т. П. Матвиенко // Омский научный вестник. — 2013. — № 2 (120). — С. 227–230.
8. Мурый, А. Г. Расчет и анализ токов замыкания на землю в электрических сетях с изолированной нейтралью / А. Г. Мурый [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-кавказский регион. — 2017. — №4. — С. 64–70.