



Taqsimlash tarmoqlarida qisqa tutashuvlarni diagnostikasining matematik modelini ko'p qatlamli neyron tarmoqlari asosida ishlab chiqish

Mashhuraxon M. Xoliddinova

Doktorant, Farg'ona davlat texnika universiteti, Farg'ona, 150100, O'zbekiston; mashhuraxon.xoliddinova@fstu.uz
<https://orcid.org/0009-0006-2430-5708>

Dolzarbli: ushbu maqola tarqatish tarmoqlarida, ayniqsa O'zbekiston elektr energetikasining faol raqamli transformatsiyasi sharoitida qisqa tutashuvlarni diagnostikasining ishonchligi va samaradorligini oshirish zarurati bilan bog'liq. Shikastlanishlarni aniqlashning an'anaviy usullari murakkab tuzilishga ega tarmoqlarda yetarli darajada samarali emas. Neyron tarmoq modellari va raqamli mantiqning joriy etilishi real vaqt rejimida qisqa tutashuvlarning turi va joylashuvini aniqlash, uzilishlar davomiyligini va vaqtini kamaytirish imkonini beradi. Mamlakatdagi elektr uzatish liniyalari va podstantsiyalarni keng miqyosda modernizatsiya qilishni hisobga olgan holda, aqlli diagnostika algoritmlarini ishlab chiqish amaliy ahamiyatga ega bo'lib, energiya ta'minotining barqarorligini oshirish imkoniyatlarini ochib beradi.

Maqsad: qisqa tutashuvlarning turi va joyini avtomatlashtirilgan aniqlash uchun neyron tarmoqqa asoslangan matematik modelni ishlab chiqish.

Usullari: simmetrik tashkil etuvchilar usuli, ko'p qatlamli neyron tarmoq (MLP), Matlabda imitatsion modellash tirish, mikroprotessor dasturlash qo'llaniladi.

Natijalar: neyron tarmog'i asosida matematik model taklif qilindi, bu qisqa tutashuv turi va joyini aniqlashga imkon beradi. Model mikrokontrollerda muvaffaqiyatli amalga oshirildi, MATLAB muhitida sinovdan o'tkazildi va GSM/GPRS orqali ma'lumotlarni uzatish imkoniyati bilan 12 turdagi QTni tasniflashi va joyining yuqori aniqligini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: qisqa tutashuv, neyron tarmoq, raqamli mantiqiy blok, matematik model, tarqatish tarmoqlari, shikastlanishlar diagnostikasi, nosimmetrik tashkil etuvchilar.

Разработка математической модели диагностики коротких замыканий в распределительных сетях на основе многослойной нейросети

Машхурахон М. Холиддинова

Докторант, Ферганский государственный технический университет, Фергана, 150100, Узбекистан; mashhuraxon.xoliddinova@fstu.uz <https://orcid.org/0009-0006-2430-5708>

For citation: Kholiddinova M.M. Development of a mathematical model for the diagnosis of short circuits in distribution networks based on a multilayer neural network. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 2, pp. 153-161.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.16941902>

Received: 13.01.2025
Revised: 20.03.2025
Accepted: 22.05.2025
Published: 27.06.2025

Copyright: © Mashkhurakhon M. Kholiddinova, 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Актуальность: данной статьи обусловлена необходимостью повышения надёжности и оперативности диагностики коротких замыканий в распределительных сетях, особенно в условиях активной цифровой трансформации электроэнергетики Узбекистана. Традиционные методы обнаружения повреждений недостаточно эффективны в сетях со сложной структурой. Внедрение моделей нейронных сетей и цифровой логики позволяет в режиме реального времени определять тип и местоположение коротких замыканий, сокращать продолжительность и время прерываний. Учитывая масштабную модернизацию ЛЭП и подстанций в стране, разработка интеллектуальных диагностических алгоритмов имеет практическое значение и открывает возможности для повышения устойчивости энергоснабжения.

Цель: разработка математической модели на основе нейронной сети для автоматизированного определения вида и места коротких замыканий.

Методы: используется метод симметричных составляющих, многослойная нейронная сеть (MLP), булева логика, имитационное моделирование в MATLAB, микропроцессорное программирование.

Результаты: на основе нейронной сети была предложена математическая модель, позволяющая определить тип и место короткого замыкания. Модель успешно реализована в микроконтроллере, протестирована в среде MATLAB и показала высокую точность классификации 12 типов повреждений с возможностью передачи данных по GSM/GPRS.

Ключевые слова: короткое замыкание, нейросеть, цифровой логический блок, математическая модель, распределительные сети, диагностика повреждений, симметричные составляющие.

Development of a mathematical model for the diagnosis of short circuits in distribution networks based on a multilayer neural network

Mashkhurakhon M. Kholiddinova

Doctoral student, Fergana State Technical University, Fergana, 150100, Uzbekistan; mashhuraxon.xoliddinova@fstu.uz
<https://orcid.org/0009-0006-2430-5708>



Relevance: this article is based on the need to improve the reliability and efficiency of short circuit diagnostics in distribution networks, especially in the context of the active digital transformation of the Uzbek electric power industry. Traditional methods of damage detection are not effective enough in networks with a complex structure. The implementation of neural network models and digital logic allows real-time determination of the type and location of short circuits, and shortening the duration and time of interruptions. Given the large-scale modernization of power lines and substations in the country, the development of intelligent diagnostic algorithms is of practical importance and opens up opportunities to increase the sustainability of energy supply.

Aim: to develop a mathematical model based on a neural network for the automated determination of the type and location of short circuits.

Methods: symmetric component method, multilayer neural network (MLP), Boolean logic, simulation modeling in MATLAB, microprocessor programming are used.

Results: based on a neural network, a mathematical model was proposed to determine the type and location of a short circuit. The model was successfully implemented in a microcontroller, tested in the MATLAB environment and showed high accuracy in classifying 12 types of damage with the ability to transmit data over GSM/GPRS.

Keywords: short circuit, neural network, digital logic unit, mathematical model, distribution networks, fault diagnosis, symmetric components.

1. Введение (Introduction)

Диагностика коротких замыканий (КЗ) в распределительных сетях является критически важной задачей для повышения надёжности электроснабжения. По данным IHS Markit, в 2021 году как минимум 350 миллионов человек во всём мире столкнулись с крупными отключениями электроэнергии, что составляет более 4 % мирового населения [1]. Среди причин аварийных отключений значительную долю составляют именно короткие замыкания в распределительной сети, которые приводят к сбоям оборудования и длительным простоям [1, 2].

В Узбекистане, несмотря на активную модернизацию электроэнергетической системы, в некоторых регионах существует высокая частота аварий в сетях средних и низких напряжений. Согласно [3], распределительные сети 10 кВ и 6 кВ нуждаются в обновлении из-за изношенности, что приводит к частым сбоям и потерям, особенно в сельских районах. В последние годы направлены усилия на модернизацию линий и трансформаторных узлов [4, 5]. Аналитические методы на основе нейронных сетей и цифровой логики могут существенно сократить время локализации повреждений, автоматизировать диагностику и снизить потери в электрических сетях.

Основная часть. Существующие методы — такие как импульсная локация и рефлектометрия — не обеспечивают однозначного определения вида и места повреждения в сетях со сложной топологией. В данной работе предложен интеллектуальный подход, сочетающий методы анализа симметричных составляющих, искусственных нейросетей и булевой логики для создания комплексной математической модели диагностики КЗ.

Известен локационный способ определения места повреждения, который позволяет определять расстояние до повреждения в неразветвленной линии [6-8]. Постоянное совершенствование этого способа в течение нескольких десятилетий позволило выйти на точности, недостижимые другими методами. Локационный способ обеспечивает большой диапазон измеряемых расстояний, низкую погрешность измерения. Но все это касается неразветвленных кабелей, проводов и т.д.

В сетях со сложной разветвленной топологией существует проблема, связанная с неоднозначностью определения повреждений, решение которой невозможно только на основе локационного импульсного зондирования с одного (ведущего) устройства.

Известен способ, который осуществляет мониторинг сети и использует данные рефлектометрии для определения наличия дефектов проводов и кабелей в сетях с разветвленной топологией [9], и заключается в том, что ведущее оконечное оборудование осуществляет одновременно локационное зондирование и измерение фазы несущей, принятой от ведомого оконечного оборудования, данные заносят в память микроЭВМ, измеренное значение фазы и форму рефлектограммы сравнивают с предыдущими значениями и в случае изменения значения фазы или формы рефлектограммы определяют наличие или отсутствие повреждения в зондируемом сегменте.

Недостатком изобретений является то, что не различает вид повреждения в линии электропередачи: однофазное замыкание на землю, межфазное замыкание, обрыв одной фазы и т.д.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому устройству является выбранное в качестве прототипа [10], которое содержит параллельно расположенные входной блок для параметров трехфазного напряжения и шунт для параметров трехфазного тока с каждым из которых последовательно соединены фильтр симметричных составляющих, избирательный усилитель, детектор и аналого-цифровой преобразователь, выходы аналого-цифровых преобразователей подсоединены ко входу микроконтроллера, выходы которого подсоединены ко входам цифровых индикаторов, постоянного запоминающего устройства и съёмного энергонезависимого носителя SD карт.

Устройство позволяет определять параметры несимметрии такие как: напряжение обратной

последовательности (U_2), напряжение нулевой последовательности (U_0), ток обратной последовательности (I_2) и ток нулевой последовательности (I_0), а также зная данные параметры несимметрии, можно вычислить коэффициенты обратной и нулевой последовательности по току, с помощью которых определяются дополнительные потери.

Недостатком этого устройства является не различает вид и место повреждения в линии электропередачи: однофазное замыкание на землю, межфазное замыкание, обрыв одной фазы и т.д.

Задачей полезной модели является, измеряя параметры несимметрии такие как: напряжения и токи обратной и нулевой последовательности (U_2, U_0, I_2, I_0), определять вид и место повреждения линии электропередач.

Поставленная задача решается тем, что в устройстве определения вида и места повреждения линии электропередач, параллельно расположенные входной блок для параметров трехфазного напряжения и шунт для параметров трехфазного тока с каждым из которых последовательно соединены фильтр симметричных составляющих, избирательный усилитель, детектор и аналого-цифровой преобразователь, выходы аналого-цифровых преобразователей подсоединены ко входу первого и второго микроконтроллеров, выходы первого микроконтроллера подсоединены ко второму микроконтроллеру, один из выходов второго микроконтроллера подсоединен к модулю GSM/GPRS, в второй выход подсоединен ко входу цифрового логического блока, выходы которого соединены ко входам модуля GSM/GPRS, блок автономного питания состоит из портативной солнечной панели, выходы которой подсоединены ко входу аккумуляторной батареи, выходы которой подсоединены ко входу блоку микроконтроллеров.

Однако при сокращении некоторых элементов и введении в указанной связи дополнительного микроконтроллера, запрограммированного с применением многослойной нейронной сети (MLP), цифрового логического блока и модуля GSM/GPRS с другими элементами схемы в заявляемое устройство для определения вида и места повреждения линии электропередач, устройство приобретает новые возможности, т.е. с помощью него можно определить вид и место повреждения в линии электропередач. Следовательно, совокупность существенных признаков по достигаемому положительному эффекту дает возможность сделать вывод о соответствии предлагаемого технического решения критерию «существенные отличия».

2. Методы и материалы (Methods and materials)

Устройство позволяет определять параметры несимметрии, такие как: напряжения и токи обратной и нулевой последовательности (U_2, U_0, I_2, I_0), а также, зная данные параметры несимметрии, можно вычислить коэффициенты обратной и нулевой последовательностей по току, с помощью которых определяем дополнительные потери.

Значения напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей предлагаются определять по формулам (1-3) [11]:

$$U_1 = \sqrt{\frac{1}{12} \left[\left(\sqrt{3}U_{AB} + \sqrt{4U_{BC}^2 + \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} + U_{AB} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} \right)^2 \right]} \quad (1)$$

$$U_2 = \sqrt{\frac{1}{12} \left[\left(\sqrt{3}U_{AB} - \sqrt{4U_{BC}^2 + \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} + U_{AB} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} \right)^2 \right]} \quad (2)$$

Действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты рекомендуется определять так:

$$U_0 = \frac{1}{6} \sqrt{\left[\frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} - 3 \frac{U_B - U_A}{U_{AB}} \right]^2 + \left[\sqrt{4U_{BC}^2 - \left(U_{AB} - \frac{U_{BC}^2 - U_{CA}^2}{U_{AB}} \right)^2} - 3 \sqrt{4U_B^2 - \left(U_{AB} - \frac{U_B^2 - U_A^2}{U_{AB}} \right)^2} \right]^2}, \quad (3)$$

где U_A и U_B - действующие значения фазных напряжений на частоте основной гармонической составляющей.

Коэффициенты несимметрии напряжений обратной и нулевой последовательностей в этом случае определяются из формул [11, 12]:

$$k_{2U} = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100, \quad (4)$$

$$k_{0U} = \frac{U_0}{U_1} \cdot 100, \quad (5)$$

Именно количественные величины этих коэффициентов нормируются ГОСТом 2÷4% для систем электроснабжения общего назначения. Соответствие фактического уровня несимметрии напряжений в этом случае проверяется так:



$$k_{2U} = \sigma_{2U}, \quad (6)$$

$$k_{0U} = \sigma_{0U}, \quad (7)$$

где σ_{2U} и σ_{0U} - допустимые межгосударственным стандартом значения коэффициентов обратной и нулевой последовательностей.

Далее при планомерном использовании равенств (1), (2), (3), (4), (5) и неравенств (6) и (7) выясняется необходимость активного воздействия на уровень несимметрии напряжений и токов.

Далее первый микроконтроллер вычисляет и подает результаты расчета несимметрии напряжения и тока нулевой последовательности (U_0, I_0) на второй микроконтроллер. На входы второго микроконтроллера также подается сигнал о фазных напряжениях (U_A, U_B, U_C) и токах (I_A, I_B, I_C).

Автоматическое определение вида КЗ на основе 4-битного выходного кода от нейронной сети (MLP), реализуемой во втором микроконтроллере, с использованием булевых логических функций.

Входные данные: Результат работы нейросети – 4-битный код (8):

$$Q = \{Q_0, Q_1, Q_2, Q_3\} \quad Q_i \in \{0,1\}. \quad (8)$$

Множество классов неисправностей (9):

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_{12}\}. \quad (9)$$

В цифровом логическом блоке приведена комбинация из 12 видов повреждений однофазное КЗ фазы А на землю AG, однофазное КЗ фазы В на землю BG, однофазное КЗ фазы С на землю CG, двухфазное КЗ между фазой А и В – АВ, двухфазное КЗ между фазой А и С – АС, двухфазное КЗ между фазой В и С – ВС, двухфазное КЗ между фазой А и В на землю – АВG, двухфазное КЗ между фазой А и С на землю – АСG, двухфазное КЗ между фазой В и С на землю – ВСG, трехфазное КЗ ABC, трехфазное КЗ на землю ABCG, без повреждения.

Булевы логические функции:

Для каждого класса c_i определена булева функция $f_i(Q)$ (10):

$$f_i(Q) = \begin{cases} 1, & \text{если } Q = \text{код } c_i \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (10)$$

Цифровой логический блок: Выбор класса повреждения

Выходной класс определяется функцией (11):

$$\hat{c} = \arg \max_{i \in \{1, \dots, 12\}} f_i(Q) \quad (11)$$

То есть выбирается та логическая функция, которая активна (равна 1).

Получая информацию второй микроконтроллер, сравнивает данные с заранее запрограммированной многослойной нейронной сети (MLP), и на выходе подает один сигнал о месте повреждения на модуль GSM/GPRS и четыре сигнала о виде повреждения (однофазное КЗ на землю, двухфазное КЗ на землю, двухфазное КЗ, трехфазное КЗ) на цифровой логический блок. Цифровой логический блок полученные сигналы от второго микроконтроллера, с помощью запрограммированной логической последовательности, сравнивает и определяет вид повреждения, далее результат о виде повреждения передает на модуль GSM/GPRS.

Выходной сигнал для GSM/GPRS (12):

$$OUT_{GSM} = g(\hat{c}) \in Z_{[0000]} \quad (12)$$

где каждому виду повреждения соответствует свой числовой ID: AG_[1001], BG_[0101], CG_[0011], AB_[1100], AC_[1010], BC_[0110], ABG_[1101], ACG_[1011], BCG_[0111], ABC_[1110], ABCG_[1111], без повреждения_[0000].

Общая схема алгоритма (13):

$$\hat{c} = D(MLP(x)) \quad (13)$$

где $x = [U_0, I_0, U_2, I_2, U_A, U_B, U_C, I_A, I_B, I_C]$ — вектор входных параметров; $MLP(x) = Q$ — результат многослойной нейросети; $D(Q)$ — цифровой логический блок на булевых выражениях.

Цифровой логический блок реализует формально определенную логическую классификацию состояния линии электропередачи, основанную на выходе обученной нейронной сети. Каждое значение на выходе блока однозначно определяет вид КЗ и передается через модуль GSM/GPRS. Математически устройство реализует функцию (14):

$$OUT = g(D(MLP(x))) \quad (14)$$

3. Результаты и обсуждение (Results and discussion)

На рис. 1 приведена блок-схема алгоритма сбора данных с использованием разработанной модели в среде Matlab для 12 случаев, предназначенная для обучения нейронной сети.

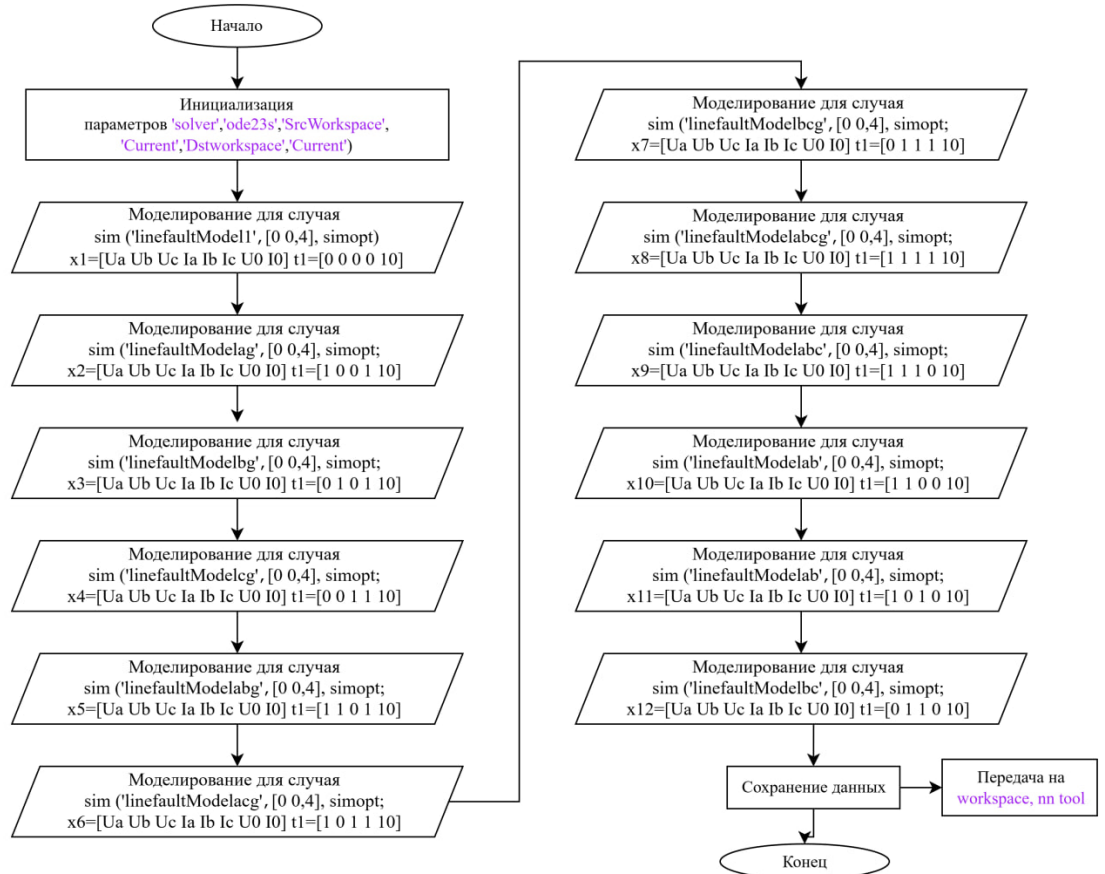


Рис. 1. Блок-схема алгоритма сбора данных с использованием среды Matlab для обучения нейронной сети

Fig. 1. Block diagram of a data acquisition algorithm using Matlab for neural network training

Подробно блок-схема рассмотрена в [13]. Процесс настройки, обучения и валидации нейронной сети включал следующие этапы:

Для обучения нейронной сети использовались массивы данных (рис. 2):

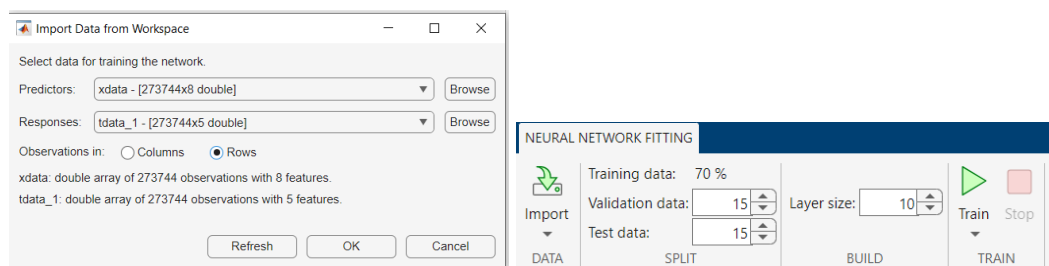
Входные данные состоят из 8 параметров, а выходные из 5.

Размерность данных: 2737144 наблюдений. Данные были разделены на три части:

Обучающая выборка: 70% (1916000 наблюдений).

Валидационная выборка: 15% (410600 наблюдений).

Тестовая выборка: 15% (410600 наблюдений).



а)

б)

Рис. 2. Массивы данных для обучения сети: а) размерность; б) распределение данных

Fig. 2. Data arrays for network training: a) dimension; b) data distribution

Используя результаты процесса обучения разработаны Simulink блоки, предназначенные для определения вида и места повреждений линий электропередач (рис. 3) [14-15].

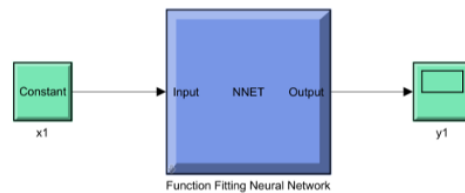


Рис. 3. Разработанный блок для определения вида повреждений в нейронной сети

Fig. 3. Developed block for determining the type of damage in a neural network

Эти блоки обеспечивают модульный подход к диагностике состояния электрической сети, позволяя эффективно определять вид и место повреждений линий.

В окне настроек короткозамыкателя задаются различные виды несимметричных КЗ.

На графиках (рис. 4) показаны работа системы обнаружения и классификации несимметричного КЗ. Каждый подграфик отображает временные изменения индикаторов, отражающих состояние различных видов несимметричных КЗ в сети. Главный индикатор Fault Detector, демонстрирует реакцию системы на обнаружение несимметричного КЗ. Повреждения отображаются как сигналы, принимающие значение 1 при обнаружении сбоя, 0 – без повреждения. Остальные подграфы представляют реакцию системы для каждого вида несимметричного КЗ. На рис. 4,б график демонстрирует возникновение данного вида повреждения. Все графики расположены в одном временном интервале (0,4 секунды), что позволяет оценить быстродействие системы. Таким образом, можно рассмотреть каждый вид несимметричного КЗ и увидеть работу блоков на модели.

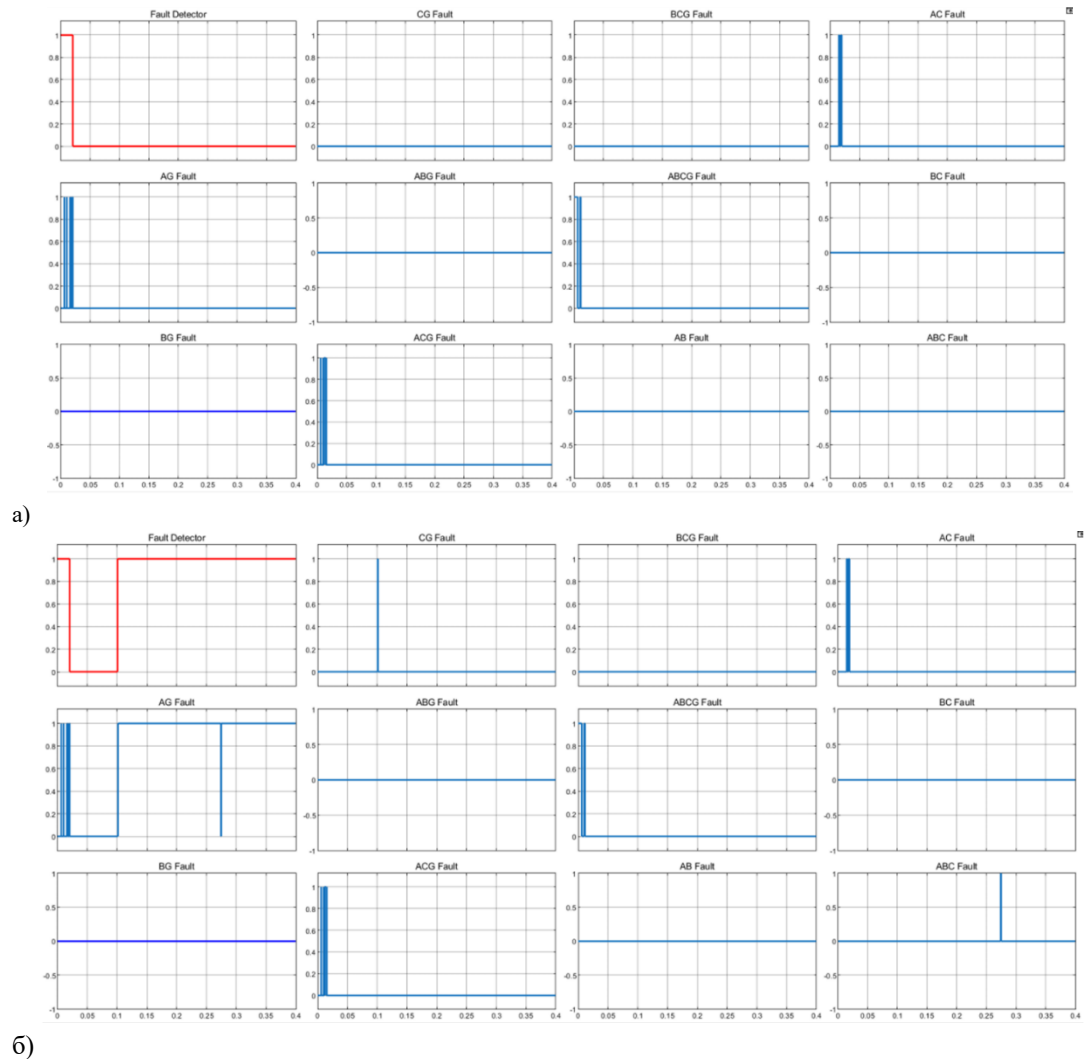


Рис. 4. Графики с результатами о виде несимметричного короткого замыкания: а) без несимметричного КЗ; б) КЗ фазы А на землю

Fig. 4. Graphs with results on the type of an asymmetric short circuit: а) without an asymmetric short circuit; б) short circuit of phase A to ground

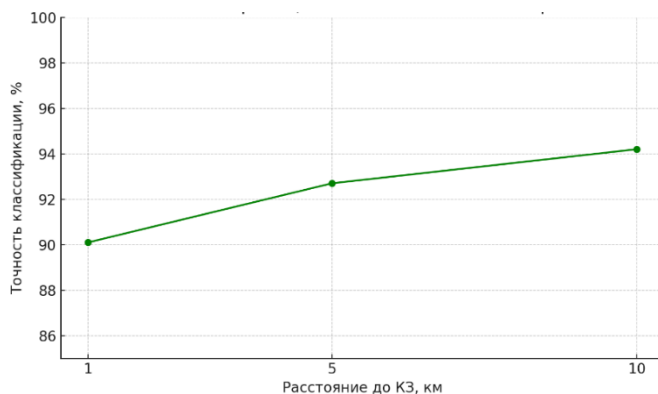


Рис. 5. Точность классификация КЗ в зависимости от расстояния

Fig. 5. Accuracy classification of short circuits depending on the distance

Для задачи определения расстояния до КЗ (регрессия) использовались следующие метрики:

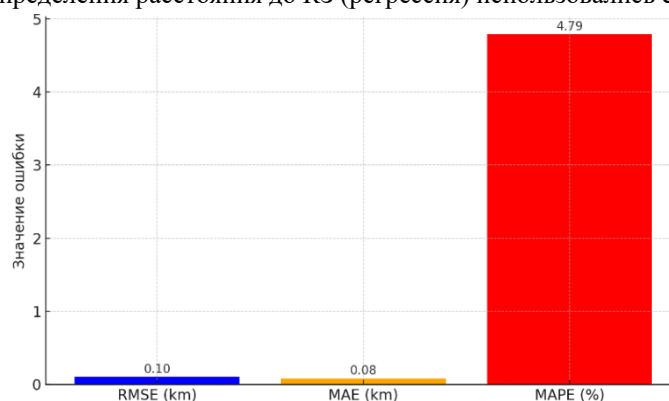


Рис. 6. Показатели ошибки локализации КЗ

Fig. 6. Fault localization indicators

Прототип был реализован на микроконтроллере с интеграцией обученной модели нейросети. Результаты: среднее время отклика: менее 80 мс; потребляемая мощность: не превышает 1,5 Вт; индикаторы состояния: визуализация каждого вида КЗ на отдельном светодиоде.

4. Заключение (Conclusion)

Разработанная модель диагностики КЗ в распределительных сетях обеспечивает интеллектуальное распознавание вида и местоположения повреждения на основе анализа параметров симметричных составляющих. Использование многослойной нейросети позволяет эффективно обрабатывать входные сигналы (U_0 , I_0 , U_2 , I_2 , U_A , U_B , U_C , I_A , I_B , I_C) и формировать 4-битный код состояния, отражающий вид КЗ. Далее этот код интерпретируется цифровым логическим блоком с использованием булевых функций, что обеспечивает однозначную классификацию одного из 12 возможных видов повреждений. Результаты передаются на модуль GSM/GPRS, обеспечивая удаленный мониторинг в реальном времени. Применение такой архитектуры обеспечивает высокую скорость и точность диагностики.

Особенностью предложенной системы является её простота, модульность и возможность интеграции в существующую инфраструктуру энергоснабжения. Результаты моделирования в среде MATLAB подтвердили работоспособность алгоритма и адекватность математической модели. Внедрение такого подхода позволит существенно повысить надёжность электроснабжения, сократить время локализации повреждений и минимизировать потери, связанные с аварийными отключениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.factorthis.com/power-grid/outage-management/in-2021-at-least-350-million-people-worldwide-experienced-major-power-outages-new-report-says/>
2. D. Karthika, D. Renuka Devi, Chapter 7 - Smart power quality control measures, Editor(s): San-

jeevikumar Padmanaban, Jens Bo Holm-Nielsen, Kayal Padmanandam, Rajesh Kumar Dhanaraj, Balamurugan Balusamy, Smart Energy and Electric Power Systems, Elsevier, 2023, Pages 105-120, ISBN 9780323916646, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91664-6.00002>

3. Electricity distribution improvement and strengthening through commercialization and transformation (P504630). Program Information Document (PID). Concept Stage | Date Prepared/Updated: 19-Jun-2024 | Report No: PIDPC00072. The World Bank.

4. <https://www.adb.org/ru/news/adb-help-modernize-uzbekistan-power-transmission-grid>

5. Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы её развития /под ред. Салимова А.У. – Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi, 2021. – 952 с.

6. Международная заявка Soraghan J.J. Automatic fault location in cabling systems. Patent, IPN: WO 98/1370 (02.04.98).

7. Шалыг Г.М. Патент №185405. Способ определения расстояния до места повреждения линии электропередачи и связи. (07.10.1966).

8. Куликов А.Л. и др. Патент RU 2269789 C1. Способ определения места повреждения линий электропередач и связи и устройство для его осуществления. (10.02.2006). (10.02.2006).

9. Карпов А.В, Закиров А.Н. Патент RU 2319972 C1. Способ определения наличия дефектов проводов и кабелей в сегментах сетей с разветвленной топологией. (20.03.2008).

10. Патент UZ FAP №01166. Устройство для регистрации дополнительных потерь электроэнергии при несимметрии нагрузок в низковольтных электрических сетях./Аллаев К.Р., Шаисматов С.Э., Холиддинов И.Х.// Расмий ахборотнома. –2016, – № 12. – С. 36. 22.05.2015.

11. Сидоренко О. А. О методах определения симметричных составляющих напряжений и токов по результатам измерений. Донецкий национальный технический университет Кафедра “Электроснабжение промышленных предприятий и городов”.

12. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. -2е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 168с.

13. Аллаев К.Р., Холиддинова М.М., Холиддинов И.Х. Разработка устройства для диагностики несимметричных коротких замыканий в воздушных ЛЭП 10 кВ// Электричество №8, 2025 г., с. 31-41.

14. Холиддинов И. Х., Холиддинова М.М. Modeling a block to determine the type of damage to a power line using Matlab // Scientific Research International Scientific Journal. 2025 / Volume: 5 Issue: 2 / 157-164. <https://doi.org/10.36719/2789-6919/42/157-164>

15. Холиддинова М.М. Нейронные сети в задачах определения вида и места несимметричных коротких замыканий в линиях электропередач напряжением 10 кВ // Республиканская научно-практическая конференция “Energetika va energiya tejash muammolari” Ташкент, 2025 г., 13-14 мая, 2025. с. 709-711

REFERENCES

1. <https://www.factorthis.com/power-grid/outage-management/in-2021-at-least-350-million-people-worldwide-experienced-major-power-outages-new-report-says/>

2. D. Karthika, D. Renuka Devi, Chapter 7 - Smart power quality control measures, Editor(s): Sanjeevikumar Padmanaban, Jens Bo Holm-Nielsen, Kayal Padmanandam, Rajesh Kumar Dhanaraj, Balamurugan Balusamy, Smart Energy and Electric Power Systems, Elsevier, 2023, Pages 105-120, ISBN 9780323916646, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91664-6.00002>

3. Electricity distribution improvement and strengthening through commercialization and transformation (P504630). Program Information Document (PID). Concept Stage | Date Prepared/Updated: 19-Jun-2024 | Report No: PIDPC00072. The World Bank.

4. <https://www.adb.org/ru/news/adb-help-modernize-uzbekistan-power-transmission-grid>

5. Allaev K.R. Modern energy and prospects for its development / edited by Salimov A.U. – Т.: Fan va texnologiyalar nashriyot-manbaa uyi, 2021. – 952 p.

6. International application for Patent, IPN: WO 98/1370 (02.04.98). Soraghan J.J. Automatic fault location in cabling systems.

7. Shalyg G.M. Patent No. 185405. A method for determining the distance to the location of damage to power lines and communications. (07.10.1966).

8. Kulikov A.L. and others. Patent RU 2269789 C1. A method for determining meta-damage to electrical transmission and communication lines and a device for its implementation. (10.02.2006). (10.02.2006).

9. Karpov A.V., Zakirov A.N. Patent RU 2319972 C1. A method for determining the presence of defects in pipelines and cables in network segments with an extensive topology. (20.03.2008).

10. UZ FAP patent No. 01166. A device for recording additional electricity losses in case of load asymmetry in low-voltage electrical networks./Allaev K.R., Shaismatov S.E., Kholiddinov I.H.// Rasmiy axborotnoma –2016, – № 12. – С. 36. 22.05.2015.

11. Sidorenko O. A. On methods for determining symmetrical components of voltages and currents based on measurement results. Donetsk National Technical University Department of "Electrical supply of industrial enterprises and cities".
12. Zhezhelenko I.V. Electric power quality indicators and their control at industrial enterprises. - 2nd ed., revised. and additional – M.: Energoatomizdat, 1986. – 168c.
13. Allaev K.R., Kholiddinova M.M., Kholiddinov I.H. Development of a device for diagnosing asymmetric short circuits in 10 kV overhead power lines// Electricity No. 8, 2025, pp. 31-41.
14. Kholiddinov I. H., Kholiddinova M.M. Modeling a block to determine the type of damage to a power line using Matlab // Scientific Research International Scientific Journal. 2025 / Volume: 5 Issue: 2 / 157-164. <https://doi.org/10.36719/2789-6919/42/157-164>
15. Kholiddinova M.M. Neural networks in the tasks of determining the type and location of asymmetric short circuits in 10 kV power transmission lines // Republican scientific and practical conference "Energetika va energiya tejash muammolari" Tashkent, 2025, May 13-14, 2025. pp. 709-711.