

УДК 621.315

DOI: 10.35211/2500-0586-2024-4-49-56-61

*Д. Н. Авдеюк***МЕТОДИКА МОНИТОРИНГА МАГИСТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ*****Волгоградский государственный технический университет**

avdprod@yandex.ru

В статье рассматривается современная методика мониторинга магистральных линий электропередач, направленная на повышение надежности и эффективности эксплуатации энергетической инфраструктуры. Описано устройство, предназначенное для повышения точности определения места повреждения на линии электропередач с учетом внешних климатических факторов. С учетом внедрения в практику рефлектометра в сочетании с предлагаемым устройством также предлагается дополненная методика мониторинга магистральных линий электропередач.

Ключевые слова: методика, повышение точности, линия электропередач, рефлектометр, BPMN-диаграмма

*D. N. Avdeyuk***THE METHODOLOGY OF MONITORING MAIN POWER LINES****Volgograd State Technical University**

The article discusses a modern method of monitoring main power transmission lines aimed at improving the reliability and efficiency of energy infrastructure operation. A device designed to increase the accuracy of determining the location of damage on a power line, taking into account external climatic factors, is described. Taking into account the introduction of a reflectometer into practice in combination with the proposed device, an additional method for monitoring main power lines is also proposed.

Keywords: methodology, accuracy improvement, power line, reflectometer, BPMN diagram

Введение

Магистральные воздушные линии электропередач (далее – МЛЭП) – это системы высоковольтных линий электропередач, которые используются для передачи больших объемов электроэнергии на длинные расстояния. Они представляют собой систему опор с проводами, по которым передается электрический ток.

Магистральные воздушные линии электропередач являются частью энергетической инфраструктуры и используются для передачи электроэнергии от генераторов (например, на электростанциях) к потребителям на большие расстояния. Они обычно имеют напряжение от 110 кВ до 1200 кВ и протяженность до нескольких тысяч километров [1].

Магистральные воздушные линии электропередач имеют несколько преимуществ перед другими способами передачи электроэнергии, такими как подземные кабели. Они более экономичны, поскольку требуют меньше материалов и работы для установки, а также их легче обслуживать и ремонтировать. Кроме того, магистральные воздушные линии электропередач

могут быстро и легко расширяться при необходимости.

Описание ИИС

В линию электропередачи, на которой произошла аварийная ситуация, после отключения ее релейной защитной автоматикой, посылается зондирующий импульс, генерируемый рефлектометром. Однако в любом рефлектометре перед измерением расстояния нужно установить коэффициент укорочения.

Точность измерения расстояния до места повреждения зависит от правильной установки коэффициента укорочения. Короткие импульсные сигналы, используемые при методе импульсной рефлектометрии, распространяются в разных линиях с разной скоростью. Эта скорость определяется материалом изоляции проводников линии.

Скорость распространения импульсных сигналов в воздушных линиях (изоляция – воздух) очень близка к скорости света в вакууме. Скорость распространения в кабельных линиях, в зависимости от материала изоляции, может быть значительно ниже (до нескольких раз) скорости распространения света в вакууме.

© Авдеюк Д. Н., 2024

* Исследование выполнено за счет средств программы развития ВолгГТУ «Приоритет 2030», в рамках научного проекта № 38/653-24.

При импульсной рефлектометрии расстояние до места повреждения или до конца линии определяется по времени задержки отраженных сигналов относительно зондирующих, в соответствии с выражением:

$$L = \frac{v_{\text{фаз}} * T}{2} = \frac{C}{2 * g} * T,$$

где L – расстояние до места повреждения, T – время задержки отраженных сигналов относительно зондирующих, $v_{\text{фаз}}$ – скорость распространения импульсного сигнала по линии, C – скорость света в вакууме (300 000 000 м/с), g – коэффициент укорочения.

Коэффициент укорочения показывает во сколько раз скорость распространения сигналов в линии меньше скорости света в вакууме и определяется выражением $g = C/v_{\text{фаз}}$.

Используя данные зависимости изменения параметров линии, необходимо проводить коррекцию, которая в свою очередь скорректирует фазовую скорость и, следовательно, расстояние до места повреждения, что уменьшит погрешность определения места повреждения линии электропередачи [2].

С учетом коррекции формула фазовой скорости будет выглядеть следующим образом:

$$v_{\text{фаз}} = \frac{\omega}{\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega^2 L_{0\partial} C_{0\partial} - R_{0\partial} G_{0\partial} + \sqrt{(R_{0\partial}^2 + \omega^2 L_{0\partial}^2) \cdot (G_{0\partial}^2 + \omega^2 C_{0\partial}^2)}}}$$

$$L_{0\partial} = L_0 \pm \Delta L_0; R_{0\partial} = R_0 \pm \Delta R_0; C_{0\partial} = C_0 \pm \Delta C_0; G_{0\partial} = G_0 \pm \Delta G_0 \quad (1)$$

где ΔL_0 , ΔC_0 , ΔR_0 , ΔG_0 – значения отклонения параметров от нормируемых значений [3].

Для вычисления значений отклонения параметров от нормируемых значений необходимо измерить параметры окружающей среды, а именно:

- температуру провода;
- температуру воздуха;
- влажность воздуха;
- диэлектрическую проницаемость земли.

Описание методики мониторинга магистральной линии электропередачи

Суть метода заключается в следующем. Рефлектометр для определения расстояния до места повреждения линии электропередачи (рис. 1) подключается к линии электропередачи (ЛЭП) через коммутатор, который является связующим звеном между рефлектометром, ЛЭП и предлагаемым аппаратно-программным устройством. Отраженный сигнал через коммутатор поступает на усилитель, коэффициент усиления которого корректируется по функциональной зависимости, обратной функции затухания сигнала в линии. Далее усиленный сигнал поступает в блок стабилизации амплитуды сигнала, который представляет собой устройство автоматической регулировки усиления (АРУ) [4].

Блоки адаптивного усилителя и стабилизации амплитуды сигнала позволяют реализовать двухступенчатую стабилизацию отраженного сигнала и повысить достоверность работы устройства в целом.

По известному времени от начала посылы зондирующего импульса и времени возврата отраженного импульса от неоднородности линии происходит подсчет количества тактов, соответствующих времени прохождения зондирующего импульса до места аварии на линии.

Микроконтроллер, на вход которого поступает информация о времени прохождения зондирующего импульса, на основе программного обеспечения производит, согласно формулы (1), расчет фазовой скорости и поправочного коэффициента укорочения рефлектометра.

Расчет фазовой скорости происходит с учетом усредненных по времени показаний с датчиков окружающей среды (температуры провода и воздуха, влажности воздуха и диэлектрической проницаемости земли).

После чего скорректированное значение импульса через коммутатор поступает в рефлектометр, на экране которого представлена информация о расстоянии и характере повреждения на линии электропередачи.

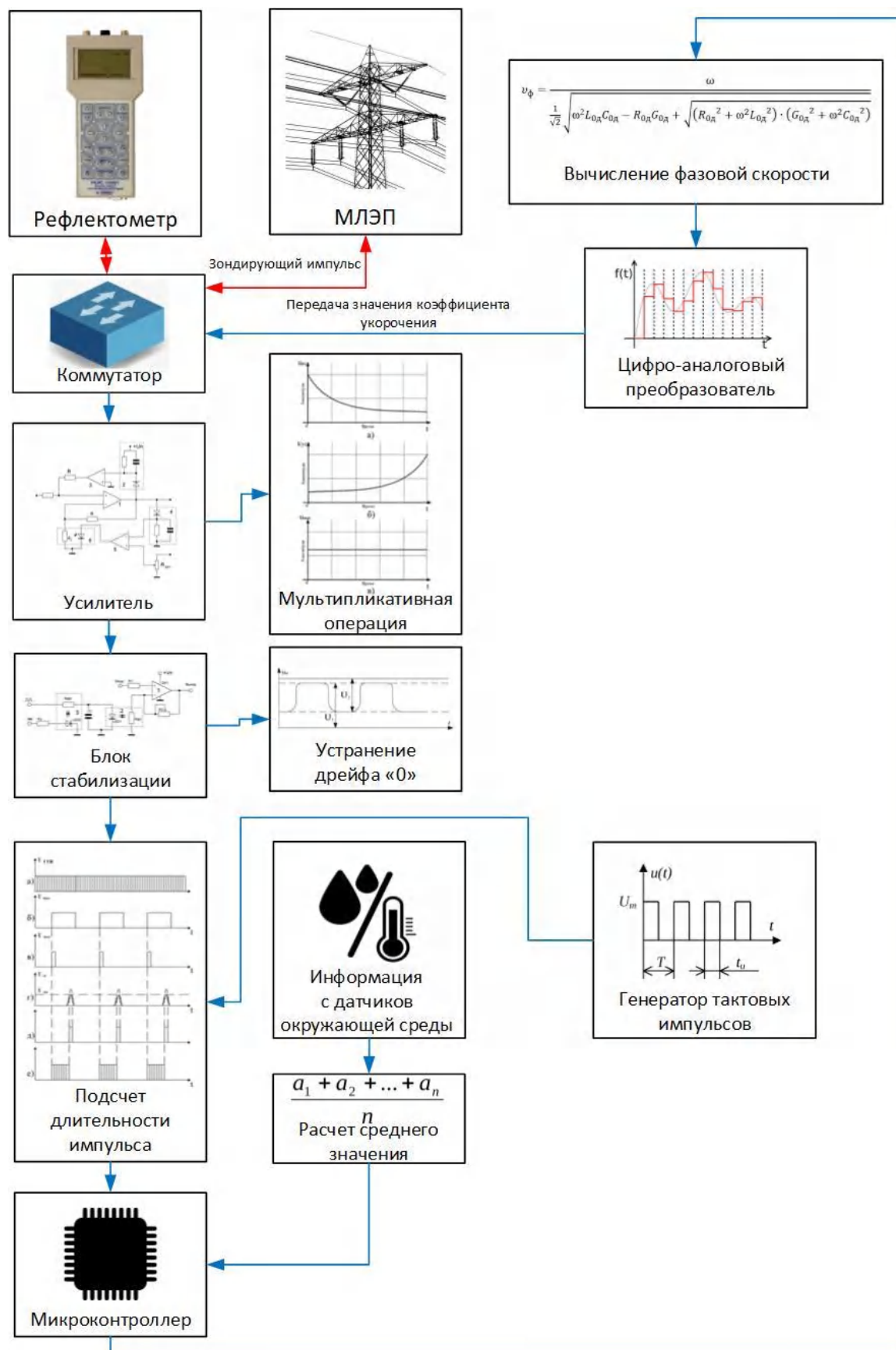


Рис. 1. Схема метода повышения достоверности ИИС определения мест повреждения на линии электропередач

Схема подключения ИИС представлена на рис. 2.

Микроконтроллер МК может устанавливать два режима работы: режим установки фазовой скорости или коэффициента укорочения электромагнитной волны в линии электропередачи и режим определения вида и места аварии. В режиме установки коэффициента укорочения работают блоки ДТП, ДТВ, ДДП, ДСЗ и МК. В режиме определения вида и места повреждения работают все блоки структурной схемы кроме датчиков.

Необходимо отметить, что устройство предназначено для работы в системе релейной защиты. В последних разработках системы релейной защиты также используются системы

автоматической коррекции влияния метеорологических факторов на токи короткого замыкания в воздушных линиях. Причем для коррекции используются такие же блоки – ДТП, ДТВ, ДДП, ДСЗ и МК. Поэтому эти блоки могут быть общими для обеих систем.

Учитывая тот факт, что метеорологические факторы окружающей среды изменяются относительно плавно на протяжении линии, то установка датчиков предполагается единой группой возле опоры.

Созданная информационно-измерительная система позволяет повысить достоверность контроля МЛЭП и снизить погрешность при определении места повреждений линий на 6 %.

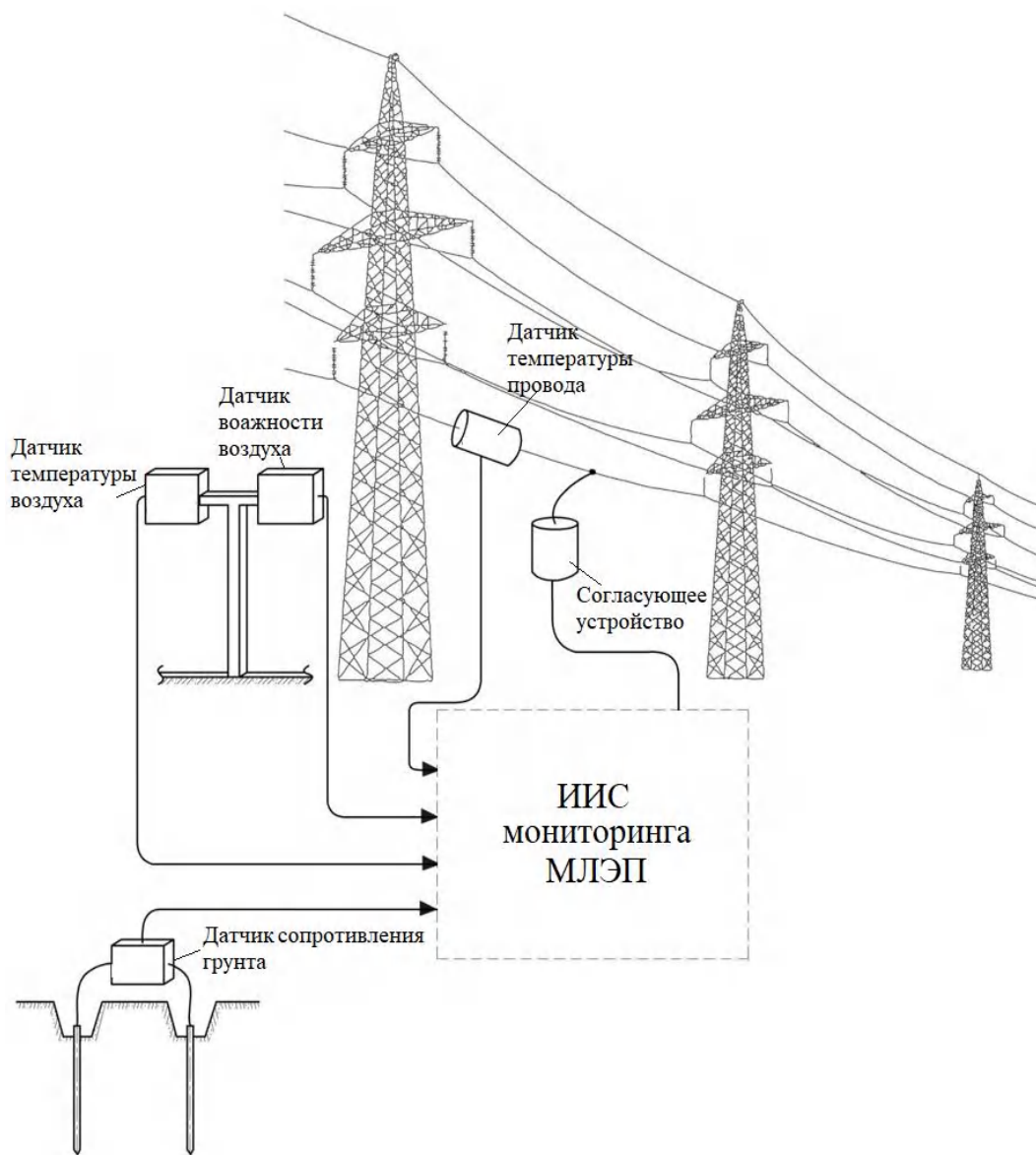


Рис. 2. Схема подключения ИИС к МЛЭП

На рис. 3 представлена BPMN-схема руководства по проведению мероприятий с исполь-

зованием разработанного устройства.

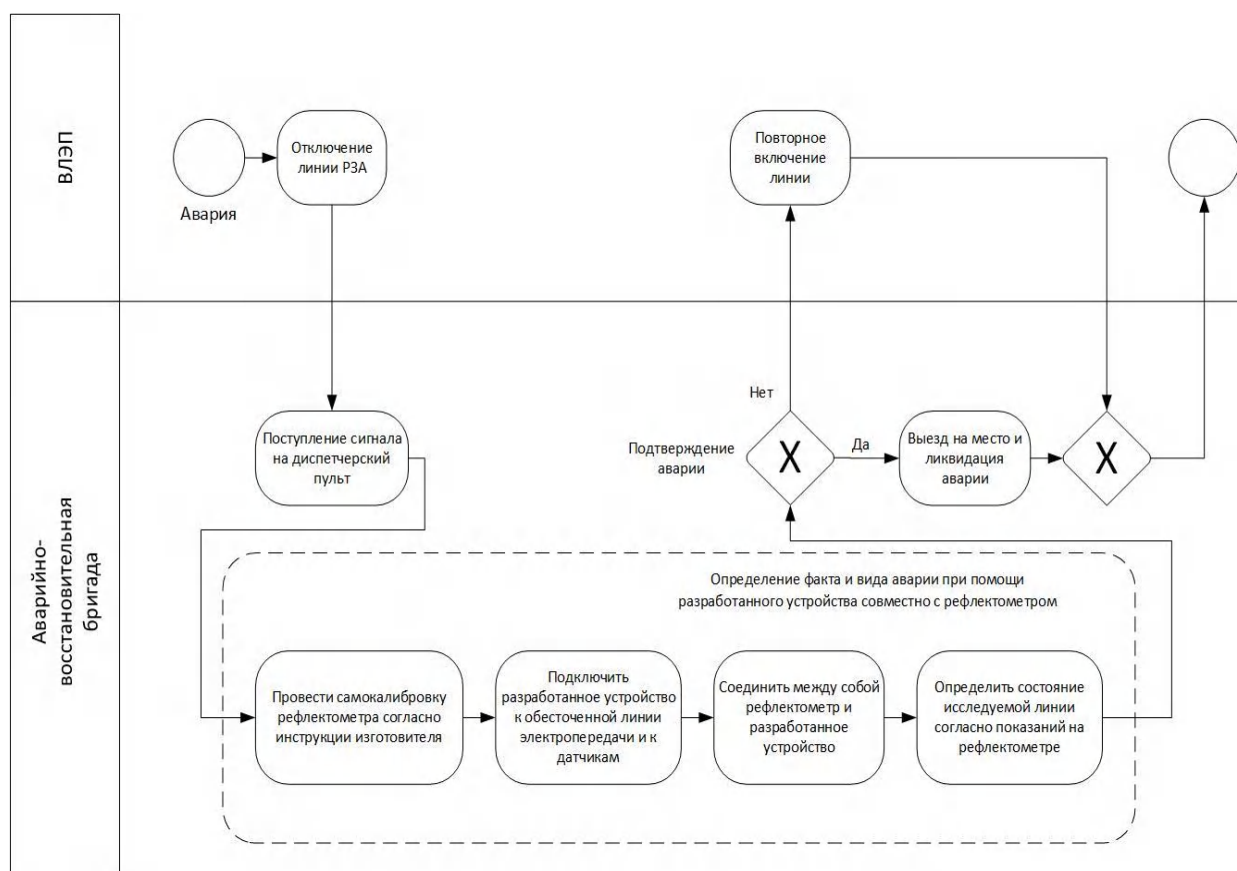


Рис. 3. BPMN-диаграмма инженерной методики мониторинга магистральной линии электропередачи

Вышеуказанная схема представляет из себя инструкцию по работе с устройством в случае возникновения аварии на линии электропередачи:

1. При возникновении аварии на линии электропередачи происходит срабатывание релейной защиты и автоматики (РЗА), после чего линия остается обесточенной, и соответствующий сигнал поступает на диспетчерский пульт с дальнейшей передачей информации об инциденте аварийно-восстановительной бригаде;

2. Сотрудники электроэнергетической организации выезжают на место расположения РЗА;

3. При помощи рефлектометра и разработанного устройства исследуют линию электропередачи на наличие факта/вида аварийного режима;

После определения расстояния до места аварии энергетики могут приступить к ремонту поврежденной линии. Для этого им необходимо

использовать специальное оборудование, которое позволяет заменять поврежденные участки линии, провода и другие элементы электросети.

Важно отметить, что работа на поврежденной линии электропередачи является опасной и требует высокой квалификации и опыта. Поэтому энергетики должны соблюдать все необходимые меры безопасности и использовать соответствующее оборудование и инструменты [5].

Заключение

В результате работы рефлектометра в составе с предлагаемым устройством целесообразно изменить также и инженерную методику мониторинга магистральной линии электропередачи. При учете внешних климатических факторов повышается достоверность определения места повреждения на линии электропередач. Учитывая тот факт, что для работы предлагаемого устройства необходимы климатиче-

ские датчики, то необходимо учесть их установку в инженерной методике. Стоит отметить, что использование предлагаемого устройства повышает достоверность определения места повреждения на 6 %, таким образом дополнительные временные затраты на установку датчиков являются оправданными действиями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Воротников, С. А.* Информационные устройства робототехнических систем: учеб. пособие / С. А. Воротников. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 384 с.; ил. (Робототехника / Под ред. С. Л. Зенкевича, А. С. Ющенко).
2. *Шалыт, Г. М.* Определение мест повреждения линий электропередачи импульсными методами / Г. М. Шалыт. – М.: «Энергия», 1968. – 216 с.
3. Локационные приборы контроля линий электропередачи: учеб. пособие / А. Н. Шилин, А. А. Шилин, Над. С. Кузнецова, Д. Н. Авдеюк; ВолгГТУ. – Волгоград, 2023. – 128 с.
4. Пат. 2712771 Российская Федерация, МПК G01R31/11 Интеллектуальное устройство для измерения расстояния до места повреждения линий электропередачи / А. Н. Шилин, А. А. Шилин, Над. С. Кузнецова, Д. Н. Авдеюк; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – 2020.
5. Рефлектометр цифровой импульсный РИФ-9 [Электронный ресурс] // Сенсорика-ТМ. – Режим доступа: <https://sensorika-tm.ru/shop/trassoiskateli-reflektometry/impulsnyj-reflektometr-rif-9/> – (Дата обращения: 12.11.2024 г.).