

УДК 620.9+620.19

## **СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИК ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПОДСТАНЦИИ 6-35 кВ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Юмалин Андрей Васильевич, аспирант кафедры электро- и теплоэнергетики, Альметьевский государственный нефтяной институт

### **Аннотация**

*В статье приведены результаты анализа актуальных проблем определения мест повреждения в распределительной электрической сети промышленной подстанции, существующих методов определения мест повреждений и перспективные пути их совершенствования. Сформулирована цель работы и решение поставленной задачи.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** определение мест повреждения, методы и точность определения мест повреждения.

## **MODERN ASPECTS OF IMPROVING METHODS ON DETERMINATION OF DAMAGES IN THE DISTRIBUTION ELECTRICAL NETWORK OF SUBSTATION 6-35 kV OF OIL AND GAS PRODUCING ENTERPRISES**

Yumalin Andrey Vasilyevich, post-graduate student of the Department of Electrical and Thermal Power Engineering, Almetьевsk State Petroleum Institute

### **Abstract**

*The article presents the results of the analysis of the existing problems of determining the fault locations in the distribution network of the field substation and the existing methods for locating damages and prospective ways to improve them. The goal of the work and the tasks to be solved are formulated.*

**KEYWORDS:** identification of damage sites, methods and accuracy of damage location.

Одной из основных проблем обеспечения надежной работы систем электроснабжения является оперативное определение мест повреждения (ОМП) в распределительной электрической сети промышленной подстанции и проведение ремонтно-восстановительных работ. Актуальность рассматриваемой проблемы заключается в повышении надежности системы электроснабжения и снижении потерь добычи нефти.

Цель предлагаемой работы - создание системы по оперативному определению места повреждения в распределительной электрической сети и разработка алгоритма управления данной системы, учитывающая все условия эксплуатации этой сети.

Для достижения поставленной цели решены задачи по определению факторов влияющих на основные параметры методики определению места повреждения в распределительной электрической сети и параметры алгоритма управления рассматриваемой системы.

Условия труднодоступной местности, значительная протяженность отходящих

воздушных линий (ВЛ), бездорожье, особенно в осенне-зимнее время, затрудняет успешное ОМП, что значительно затрудняет ликвидацию аварийных режимов и, поэтому, длительность ОМП составляет, примерно,  $\frac{3}{4}$  общего времени ликвидации повреждения электропередачи [1].

Разнообразие видов и характера повреждений, а также структуры и условий работы распределительной электрической сети, не позволяет получить какой-либо универсальный метод ОМП, а еще сложнее создать какую-либо универсальную аппаратуру.

Для разного типа линий и сетей, а также видов повреждения, к методам и устройствам ОМП предъявляются различные требования, обусловленные технико-экономическими факторами.

Удовлетворить этим требованиям удастся только при условии рассмотрения совокупности методов и средств ОМП, как системы с единой структурой для всех линий и сетей, при любом характере повреждений [2].

Общими требованиями к ОМП всех типов и классов линий электропередачи является быстрота и точность, а внедрение прогрессивных средств и методов ОМП, особенно при их комплексном использовании, дает значительный технико-экономический эффект, обусловленный сокращением перерывов в энергоснабжении, предотвращение переходов однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) в двойное короткое замыкание (КЗ) и неустойчивых повреждений в устойчивые.

Из этого исходит задача - пересмотреть существующие алгоритмы и методики дистанционного ОМП для распределительной электрической сети подстанции 6-35 кВ нефтегазодобывающих предприятий и передачи информации диспетчеру.

Передача информации на большие расстояния – это одна из наиболее актуальных проблем в электроэнергетике. Большинство подстанций и трансформаторных пунктов в распределительных сетях 6–35 кВ эксплуатируются без постоянного дежурного персонала, а все необходимые работы производятся оперативной выездной бригадой.

Поэтому о нарушении электроснабжения диспетчер ПЭС (или РЭС) может быть оперативно информирован только с помощью телесигнализации. В настоящее время имеются технические возможности для решения этой задачи, поскольку на рынке представлены современные цифровые системы телекоммуникации, которые позволяют обрабатывать, кодировать и осуществлять передачу большого объема информации на дальние расстояния.

Каждое повреждение следует определять сначала дистанционно (найти зону), а затем

топографически (найти место). Согласно квалификации, предложенной в [2] методы ОМП делятся на дистанционные и топографические.

В дистанционных методах используются устройства, устанавливаемые в доступных персоналу пунктах сети, как правило, в общеподстанционных пунктах управления (ОПУ), и указывающих расстояние от места установки устройства до места повреждения (рис.1). Топографические методы подразумевают ОМП при движении по трассе с помощью переносных устройств, либо с помощью стационарных устройств, установленных вдоль линии.

Кроме того, различают низкочастотные и высокочастотные методы ОМП. Под низкочастотным диапазоном ( $f_H$ ) понимаются частоты от нуля (постоянный ток) до несколько килогерц. При этом, для ВЛ  $f_H = 0 \div 1$  кГц, для кабельных линий (КЛ)  $f_H = 0 \div 10$  кГц. К высокочастотным диапазонам ( $f_B$ ) относится частота, превышающая несколько десятков килогерц. При этом для ВЛ  $f_B = 30 \div 1000$  кГц, для кабельных линий (КЛ)  $f_H = 60 \div 10^6$  кГц. Диапазоны частот 1-30 кГц для ВЛ и 10-60 кГц для КЛ не используются в практике ОМП [2].

Как видно из схемы рис.1, к высокочастотным относится только часть дистанционных методов ОМП.

Одним из применяемых в практике ОМП высокочастотных дистанционных методов является импульсный метод. Принцип действия импульсных методов основан на измерении интервалов времени распространения электромагнитных волн (импульсов) по участкам линии. По признаку использования для отчета времени специально генерирующих импульсов или же возникающих в месте повреждения линии электромагнитных волн, целесообразно разделить их на локационные и волновые.

Волновые, в свою очередь, делятся на односторонние и двухсторонние (по фиксации моментов прихода фронтов на одном конце линии или на обоих концах). Достоинства волнового метода – это простота и возможность применения в случаях, когда сопротивление в месте повреждения изменяется от нуля Ом до сотен Ом. Недостаток – чувствительность к помехам, обусловленным, в том числе, внешними источниками [3].



Рис. 1. Схема классификации методов ОМП

При волновом методе односторонних измерений используют либо измерение времени между приходами волн первого и второго отражения от места повреждения, либо разновременность прихода волн по каналу фаза – фаза и по каналу фаза – земля.

При волновом методе двухсторонних измерений необходим отсчет времени измерительных устройств, с точностью до микросекунд, на обоих концах линии и, поэтому, двухсторонние, измерения волнового метода необходимо разделить на предварительные и последующие хронизирующие сигналы.

В последнее время, в связи с активным использованием спутниковых радионавигационных систем (СРНС), таких как GPS и ГЛОНАСС, возрастает актуальность практической реализации волнового метода двухсторонних измерений для ОМП. Преимущество волнового метода двухсторонних измерений заключается в его высокой точности определения расстояния до места повреждения по сравнению со способом, основанным на расчете параметров аварийного режима на промышленной частоте.

Современные приемники сигналов СРНС формируют синхроимпульс "1с" с максимальным отклонением от всемирного координированного времени, не превышающим 100нс, являющийся опорным сигналом для умножителей частоты на основе устройств фазовой

автоподстройки частоты (ФАПЧ). Применение устройств ФАПЧ и синхроимпульса "1с" позволяют эффективно производить дискретизацию непрерывного сигнала с частотой более 1 МГц.

При этом сигнал синхронизации будет более точным и стабильным. Поэтому использование волнового метода двухсторонних измерений с частотой дискретизации сигналов более 1 МГц позволяет достичь погрешности ОМП не более нескольких сотен метров вне зависимости от длины линии.

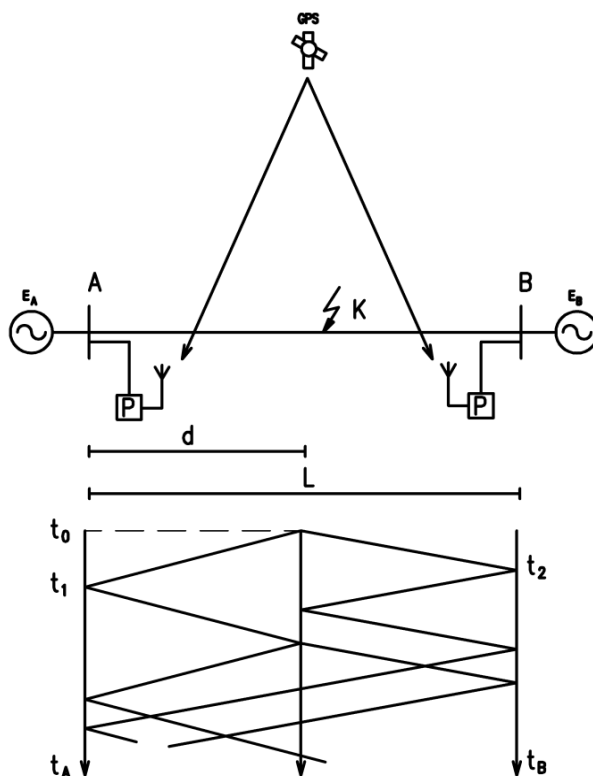
В современных условиях возможность высокоточной синхронизации

времени при фиксации импульсов на противоположных концах ЛЭП за счет навигационных спутников исключает необходимость передачи сигнального импульса по дорогостоящему каналу связи (рис. 2).

Расчет расстояния до повреждения двухсторонним методом ВОМП определяется:

$$d = \frac{L}{2} + \frac{v(t_A - t_B)}{2} \quad (1)$$

где  $v$  – скорость распространения электромагнитной волны;  $L$  – длина линии;  $t_A$  и  $t_B$  – время регистрации волн по концам ЛЭП, синхронизированное между собой с применением средств спутниковой навигации.



**Рис. 2. Принцип действия спутниковых радионавигационных систем, волнового метода двухсторонних измерений для ОМП**

Следует отметить, что использование высокой частоты дискретизации входных сигналов токов и напряжений линий требует от измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН) широкой полосы пропускания с минимальными искажениями. Применяемые ТН и ТТ проектировались для измерения сигналов промышленной частоты. Как показали зарубежные исследования, ТТ имеют погрешность измерения по амплитуде не более 5% и по фазе — не более 10 град в частотном диапазоне до 500 кГц [4].

В основу локационного метода входит измерение времени между моментом посылки в линию зондирующего электрического импульса и моментом прихода к началу линии импульса, отраженного от места повреждения.

Последнее время, по принципу активного зондирования локационного метода ВЛ напряжением 6-35 кВ для ОМП разработаны методы ОМП и идентификации ответвлений ВЛ с применением дискретно-кодированных импульсных сигналов и линейной-частотной модуляцией с применением специальных фильтров на концах отпаяк ЛЭП [5].

Из низкочастотных дистанционных методов ОМП наиболее важное значение имеют методы, основанные на измерении параметров аварийного режима. Параметры аварийного режима (ПАР) — это такие составляющие или комбинации токов и напряжений промышленной частоты в аварийном режиме, по которым можно вычислить расстояние до места КЗ на ВЛ. Эти параметры фиксируются, т.е. измеряются и запоминаются непосредственно в период протекания токов КЗ в электроэнергетической системе, элементом которой является поврежденная ВЛ, при этом надежность и точность ОМП по ПАР зависит от качества работы самих средств измерения и синхронизации, установленным по концам линии [6].

В настоящее время проведение синхронных измерений становится возможным благодаря устройствам PMU (Phasor Measurement Unit) и при наличии доступа к системе GPS (Global Positioning System), где происходят цифровые измерения с терминалов, установленных на разных концах линии [3] (рис. 3).

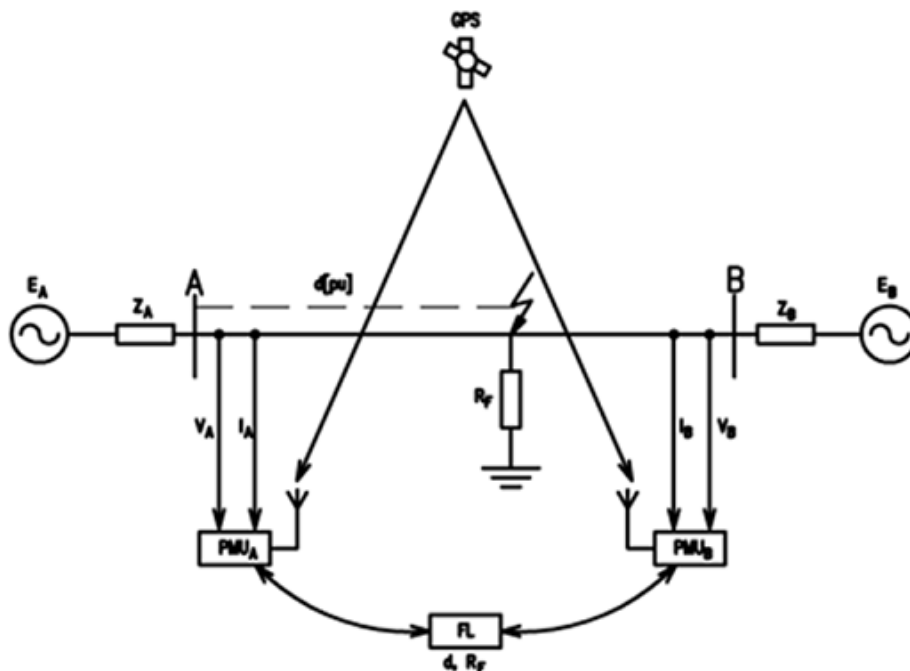


Рис. 3. Принцип действия двухстороннего ОМП по ПАР с применением спутниковых радионавигационных систем

$E_A, E_B$  – ЭДС системы А и В;  $Z_A, Z_B$  – сопротивления системы А и В;

$PMU_A, PMU_B$  – устройства РМУ, установленные по концам линии;

$R_F$  – переходное сопротивление в месте замыкания;  $d$  – расстояния до места замыкания

Исходя из вышеописанных аспектов, ОМП зависит не только от применяемых методов и устройств регистрации, но и от конфигурации электрической сети.

В настоящее время наиболее актуальным представляется использование в распределительных электрических сетях промышленных подстанций 6-35 кВ нефтегазодобывающих предприятий устройств с применением спутниковых радионавигационных систем для ОМП. Их необходимо комплектовать по топографической длине линий с учетом ответвлений (рис. 4, 5).

Каждый топографический участок линий необходимо рассматривать как подобие «Соты» мобильной связи, для того чтобы обхват устройствами ОМП и ОЗЗ были эффективно распределены. Сами устройства ОМП и ОЗЗ должны быть распределены так, чтобы недостатки одного метода компенсировались достоинствами другого, но аппаратура СРНС GPS / ГЛОНАСС, каналы связи были задействованы независимо от метода.

В основу алгоритма работы устройств работающих с применением топографического метода ОМП по параметрам аварийного режима («Бреслер 0107.090» [7], «Сириус-2-ОМП» [8], «Сириус-ОЗЗ» [9] «ТОР-200Л» [10]) положена функциональная зависимость координаты места повреждения (длины участка линии) от сопротивления этого участка. Сопротивление, в свою очередь зависит от токов и напряжений аварийного режима, которые фиксируются измерительными органами прибора.

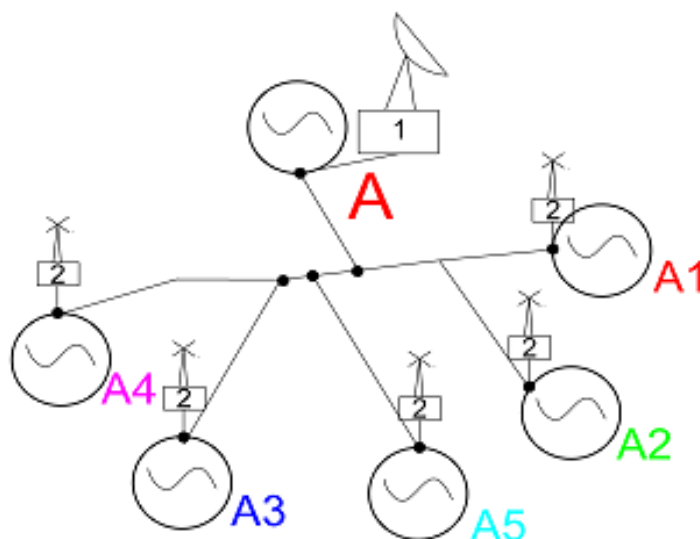


Рис. 4. Реализация двухсторонних методов ОМП в разветвленной электрической сети

Зависимости представляют собой сложные функции, в которых, к примеру, делается допущение о резистивности тока в месте повреждения, ищется координата, в которой функция примет минимальные или максимальные значения, по результатам чего делается вывод о местонахождении повреждения.

Измерительные органы приборов фиксируют множество разновидностей токов и напряжений: токи и напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей, токи и напряжения высших гармоник, параметры сети, являющиеся производными от токов и напряжений, например, мощность тока нулевой последовательности.

К примеру, терминал ОМП «Бреслер-0107.090» обрабатывает поступающую информацию, отображает поврежденный участок на карте с привязкой к карте местности и осуществляет оперативное оповещение персонала посредством SMS и E-MAIL рассылки, при дополнении модулем, позволяет, наряду с методом ОМП по ПАР, реализовать ОМП на волновом принципе. Здесь используется волновой двусторонний метод с синхронизацией полукомплектов при помощи GPS- или Глонасс-датчиков. Помимо этого, имеется канал связи с приемопередатчиками ПВЗУ-Е, АКА «Кедр», АК «ТриТОН», АВАНТ Р400(м) для связи с терминалами, установленными по концам ЛЭП и предназначенными для обмена метками времени [7].

На волновом принципе основана работа комплектного устройства импульсной защиты от замыканий на землю воздушных и кабельных линий 6-35 кВ «ТОР-110-ИЗН» [11].

Устройство предназначено для селективной защиты (сигнализации или отключения) от устойчивых или неустойчивых замыканий на землю в воздушных и кабельных линиях в сетях 6-35 кВ независимо от режима работы их нейтрали, а также для индикации фазного

тока, протекающего по линии.

Волновой орган направления мощности анализирует распространение волн переходного процесса в момент возникновения ОЗЗ. В зависимости от взаимного соотношения первых волн делается вывод о расположении точки замыкания на землю.

Ниже приведены принципы действия имеющихся зарубежных устройств. В устройствах американской фирмы Qualitrol (IDM+ 9) (IDM+18, IDM+36), FL-1 (FL-8), TWS Mk VI) после пуска происходит запись осциллограмм аварийного процесса, и передача их на сервер, где осуществляется обработка осциллограмм, расчет расстояния до места повреждения производится на персональном компьютере с помощью специального ПО [12, 13].

Комплекс TFS 2100 фирмы ISA (Италия) состоит из модулей регистрации бегущих волн TDU 100, программного обеспечения для персонального компьютера и серверного модуля DPS 100. Записанные осциллограммы передаются на серверный модуль, и далее на персональный компьютер диспетчера, где происходит их обработка и расчет расстояния до места повреждения [14].

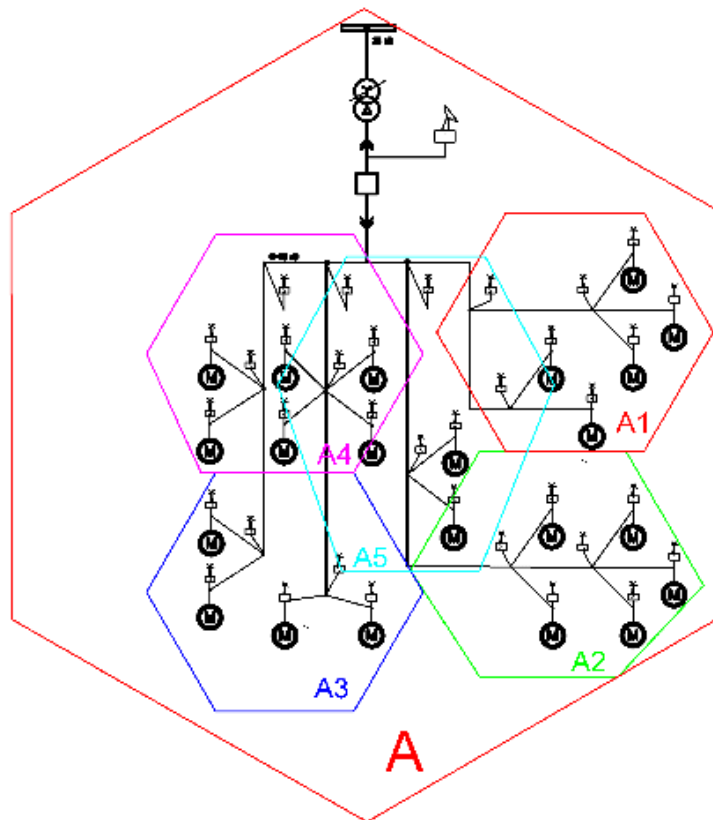
Устройство Reason/RPV-310 фирмы Alstom проводит волновое двухстороннее ОМП (тип D) при установке специального модуля высокочастотного аналого-цифрового преобразователя. Пуск устройства производится при превышении порога по току, устройство записывает высокочастотную осциллограмму, которая затем подвергается анализу для определения мест повреждения [15].

Вывод: Разработка, усовершенствование и активное внедрение в практику высокоточных методов ОМП является важной задачей, успешное решение которой повысит надежность систем электроснабжения. Приборы с волновыми методами ОМП обладают высоким потенциалом точности фиксации места повреждения, такими как малая зависимость устройств от параметров работы электротехнических комплексов, величины переходного сопротивления в месте повреждения. А погрешность ОМП волновым методом зависит от точности синхронизации.

Наличие ответвлений существенно не снижает эффективность метода ОМП по ПАР, а при возникновении ОЗЗ (по факту появления напряжения нулевой последовательности) устройство шунтирования замыкания кратковременно подключает резистор, тем самым увеличивая ток в поврежденной фазе на 30-40А, что приводит к срабатыванию индикатора повреждения воздушных линий.

Поэтому в связи с внедрением в эксплуатацию распределительных электрических

сетей СРНС GPS/ГЛОНАСС квалификацию, предложенной [1] предлагаем совмещение топографического (двухстороннего ОМП по ПАР) и дистанционного (волнового метода ОМП двухсторонним измерением) методов (рис.5).



**Рис. 5. Совмещение топографического (двухстороннего ОМП по ПАР) и дистанционного (волнового метода ОМП двухсторонним измерением) методов**

В современных реалиях в распределительной электрической сети подстанций 6-35кВ нефтегазодобывающих предприятий целесообразно применять устройства с высокоскоростным цифровым преобразованием сигналов со спутниковой синхронизацией (GPS/ГЛОНАСС), навигацией и аппаратуру имеющую связи между терминалами, сопоставимые по методам ОМП на этих линиях. В случае потери связи со спутниками, имеющими возможность обеспечения синхронизации по каналу связи.

### Литература

1. Арцишевский Я.Л. Определение мест повреждения линии электропередачи в сетях с изолированной нейтралью/ Изд-во «Высшая школа».1989.
2. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. – М.:Энергоиздат, 1982 – 312с.
3. Куликов А.Л, Вуколов В.Ю., Шарыгин М.В., Бездушный Д.И., Темирбеков Ж./Алгоритм определения места повреждения линии электропередачи с ответвлениями. Вестник НГИЭИ, №9 (76) 2017. Стр. 29-37.

4. Лачугин В.Ф. Панфилов Д.И., Смирнова А.Н./ Реализация волнового метода определения места повреждения на линиях электропередачи с использованием статистических методов анализа данных. Журнал «Известия Российской Академии наук. Энергетика. №6.2013г. с.137-146.
5. Петрухин А.А. Совершенствование методов и технических средств ЛЭП 6-35кВ на основе активного зондирования, Диссертация к.т.н. – 2009.
6. Kulikov A.L., Obalin M.D., Razvitie programmnogo obespecheniya dlya podderzhki prinyatia rechehiya pri likvidacii povrezhdeniya na LEP (Development software for making decision to eliminate the fault on power line), Izvestiya vuzov. Elektromekhanika. 2015. No 2. Pp.70-75.
7. Терминал определения места повреждения Бреслер 0107.090: руководство по эксплуатации / ООО «НПП Бреслер». Чебоксары, 2016. 147 с.
8. 12. Устройство определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи «Сириус-2-ОМП».: Руководство по эксплуатации / ЗАО «РАДИУС Автоматика». М. 52 с.
9. Устройство определения присоединения с однофазным замыканием на землю «Сириус-ОЗЗ». Руководство по эксплуатации. Москва: 2010. - 42 с.
10. Комплектные устройства защиты и автоматики линий 6-35 кВ TOP 200Л. Руководство по эксплуатации / ООО «Релематика». Чебоксары, 2015. 136 с.
11. Комплектное устройство импульсной защиты от замыканий на землю воздушных и кабельных линий 6-35 кВ TOP 110 – ИЗН.: Руководство по эксплуатации/ ООО«Релематика».Чебоксары, 2014. 37 с.
12. IDM+ Multifunction Power System Monitor [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.qualitrolcorp.com/products/fault-recorders/qualitrol-idm-multifunction-power-system-monitor](http://www.qualitrolcorp.com/products/fault-recorders/qualitrol-idm-multifunction-power-system-monitor)
13. TWS FL-8 and TWS FL-1 Single Tower Traveling Wave Fault Locators. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.qualitrolcorp.com/products/fault-location-monitors/tws-fl-8-and-tws-fl-1-traveling-wave-fault-locators](http://www.qualitrolcorp.com/products/fault-location-monitors/tws-fl-8-and-tws-fl-1-traveling-wave-fault-locators)
14. TFS-2100E Travelling Wave Fault Locator System Description and Specification: Datasheet / I.S.A. srl. Italy. 74 с.
15. RPV-310 Modular Multifunction Digital Fault Recorder [Текст]: Datasheet / Reason Tecnologia S. A. – Brazil. 53 с.