

*На правах рукописи*

**СЕРЁЖИН КОНСТАНТИН СЕРГЕЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА СПОСОБА И АДАПТИВНОГО УСТРОЙСТВА  
КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ НУЛЕВОГО ПРОВОДА  
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 0,38 кВ**

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск  
2010

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Читинский государственный университет» на кафедре «Электроснабжение».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор  
**Суворов Иван Флегонтович.**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Кузнецов Константин Борисович;**  
кандидат технических наук, доцент  
**Ситчихин Юрий Вениаминович.**

Ведущее предприятие - «Забайкальский институт железнодорожного транспорта» филиал ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения».

Защита диссертации состоится «29» апреля 2010 г., в 10 часов, в ауд.1001 на заседании диссертационного совета Д 212.298.05 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан «\_\_\_» марта 2010 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 76, гл. корпус, Ученый совет ЮУрГУ, тел./факс: (351)267-90-65, e-mail: serezhin\_k@mail.ru

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

Ю.С. Усынин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Уровень электротравматизма в электрических сетях 0,38 кВ очень высок. Это связано с различными факторами, одним из которых является отказ функционирования основных защитных мер по обеспечению электробезопасности.

Нулевой провод является важнейшим элементом основной защитной меры для электрических сетей до 1000 В с глухозаземленной нейтралью – зануления. Повреждение изоляции и попадание потенциала на корпус электроприемников посредством зануления приводит к однофазному короткому замыканию и отключению участка сети защитным аппаратом. Однако состояние нулевого провода зачастую неудовлетворительное: в качестве нулевого провода используется оболочка кабеля; часто встречается непосредственное соединение «медь–алюминий»; нулевой провод присоединяется под болт к незачищенному от краски элементу конструкции низковольтного шкафа; некачественные скрутки в местах соединения многожильных проводов и т.д. Повреждение нулевого провода приводит не только к существенному повышению токов через тело человека при однофазном коротком замыкании, но и к снижению тока короткого замыкания, что замедляет или совсем исключает срабатывание защитных аппаратов. А при однофазном коротком замыкании за местом обрыва нулевой провод обеспечит вынос потенциала на все зануленные электроприемники за местом повреждения, создавая предпосылки для группового электропоражения со смертельным исходом. Эксплуатация электроприемников, включенных на фазное напряжение 220 В, в большинстве случаев осуществляется неэлектротехническим персоналом, не представляющим условия возникновения и опасность поражения электрическим током, а также не знающим правила реанимации пострадавшего, поэтому контроль функционирования основных электротехнических мер является важнейшей задачей при эксплуатации электроустановок 0,38 кВ.

Проблема целостности нулевого провода возникает и в связи с периодически возникающими случаями перегорания однофазных электроприборов в промышленных предприятиях и у населения в трехфазных сетях до 1000 В со схемой «звезда с глухозаземленной нейтралью» с низкой стороны 0,4 кВ, включенных на фазу и нуль. Основной причиной, вызывающей недопустимые отклонения напряжения, является увеличение сопротивления или обрыв нулевого провода.

Согласно анализу повреждаемости электрических сетей филиала ОАО «МРСК Сибири» - «Читаэнерго» ПО «Читинские городские электрические сети» за 2007 – 2009 годы только на воздушных линиях 0,38 кВ зафиксировано 19 случаев повреждения нулевого провода на разных участках воздушных линий, приведших к повреждению дорогостоящей аппаратуры и бытовой техники. Возникающие перенапряжения зачастую приводят к пожарам и гибели людей.

Следовательно, для этих сетей чрезвычайно важным является наличие надежной и селективной защиты от любых аварийных и ненормальных режимов, непрерывный контроль состояния нулевого провода, а также параметров повторных заземлителей. На сегодняшний день отсутствуют средства защиты указанных сетей от ненормальных и аварийных режимов, связанных с повреждением нулевого провода, имеющие приемлемые технические характеристики и технико-экономические показатели.

В связи с вышеприведенными обстоятельствами появилась необходимость разработки способа и устройства контроля параметров нулевого провода.

**Цель работы.** Целью диссертационного исследования является повышение уровня электробезопасности в сетях напряжением до 1 кВ с глухозаземлённой нейтралью путём организации непрерывного контроля параметров системы «нулевой провод – совокупность повторных заземлителей».

**Объектом исследования** являются линии 0,38 кВ с глухозаземленной нейтралью, система «нулевой провод – совокупность повторных заземлителей».

**Предметом исследования** является распределение токов в системе «нулевой провод – совокупность повторных заземлителей» при изменяющихся характере нагрузки и состоянии указанной системы.

**Идея работы** состоит в том, что для контроля параметров нулевого провода производится измерение и анализ распределения токов по участкам нулевого провода, за счет чего представляется возможным выявление аварийного режима, а также определение места обрыва нулевого провода с учетом заданной погрешности.

#### **Научные положения и результаты, выносимые на защиту:**

1. Классификация способов контроля непрерывности нулевого провода до 1 кВ с глухозаземлённой нейтралью.
2. Распределение токов в системе «нулевой провод – совокупность повторных заземлителей» характеризует состояние нулевого провода в сети напряжением до 1 кВ с глухозаземлённой нейтралью.
3. Зависимости токов в нулевом проводе на участках между повторными заземлителями в функции от расстояния до места обрыва нулевого провода; разности токов в нулевом проводе в начале линии и за первым повторным заземлителем в функции от места обрыва нулевого проводника, количества и величины сопротивления растеканию тока заземляющего контура повторных заземлителей.
4. Способ автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных линий 0,4 кВ, заключающийся в измерении тока в нулевом проводе в начале линии и тока в нулевом проводе за первым повторным заземлителем, отличающийся от известных тем, что дополнительно производят определение разности токов в нулевом проводе в начале линии и в нулевом проводе за первым повторным заземлителем (Патент №23566151).

**Значение работы.** Научное значение работы заключается в разработке классификации способов, которая позволила сформулировать требования к

устройству контроля параметров нулевого провода; в установлении зависимости токов в нулевом проводе на участках между повторными заземлителями в функции от расстояния до места обрыва нулевого провода; разности токов в нулевом проводе в начале линии и за первым повторным заземлителем в функции от места обрыва нулевого проводника, количества и величины сопротивления растеканию тока заземляющего контура повторных заземлителей, которые позволили обосновать новый способ и адаптивное устройство автоматического контроля параметров системы «нулевой провод – совокупность повторных заземлителей».

Практическое значение работы состоит в разработке адаптивного устройства автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных линий 0,38 кВ, позволяющего определять аварийный режим при обрыве нулевого провода, а также место обрыва нулевого провода с учетом заданной погрешности. Использование предложенного устройства позволяет повысить уровень электробезопасности при эксплуатации низковольтных сетей за счёт своевременного выявления и отключения линии с поврежденным нулевым проводом.

**Основные методы научных исследований.** При проведении работы использованы фундаментальные положения теоретических основ электротехники, прикладной математики, теории электробезопасности, а также методы физического и математического моделирования и методы натурного испытания, теории вероятностей и статистической обработки информации.

**Достоверность полученных результатов.** Обоснованность и достоверность научных положений, теоретических выводов, основных результатов и рекомендаций диссертации подтверждены корректным применением известных методов расчёта и анализа электрических цепей; экспериментальными исследованиями режимов работы сети с последующей обработкой данных методами теории вероятностей и математической статистики; корректным использованием соответствующего математического аппарата, вычислительных программных комплексов; удовлетворительной сходимостью результатов математического и физического моделирования с результатами экспериментов и измерений в реальных электрических сетях (погрешность не превышает 10 %).

**Апробация работы.** Основные результаты работы доложены на Второй Российской конференции по заземляющим устройствам (г. Новосибирск, 2005 г.), Десятой Российской научно-технической конференции «Электромагнитная совместимость технических средств и электромагнитная безопасность» (г. Санкт-Петербург, 2008 г.), ежегодных Всероссийских научно-практических конференциях «Кулагинские чтения» (г. Чита, 2004 – 2008 г.), а также на конференциях и научных семинарах Энергетического института Читинского государственного университета.

#### **Реализация результатов работы.**

Разработанные способ и устройство автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных линий 0,38 кВ внедрены в электрических сетях МУП «ГорСвет» (г. Чита).

Результаты диссертационной работы также используются в учебном процессе Энергетического института ГОУ ВПО «Читинский государственный университет» при подготовке инженеров по специальности 140211 «Электроснабжение» при чтении курсов «Основы электробезопасности», «Релейная защита и автоматика», а также при проведении лабораторных работ.

**Публикации.** Основное содержание диссертации изложено в 8 печатных работах, опубликованных автором лично и в соавторстве, в том числе 2 патентах РФ на изобретение. Из них в изданиях, включенных в «Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук» – 2 статьи.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 104 наименований, приложения, содержит 143 стр. основного текста.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Вопросами повышения электробезопасности и улучшения качества электроэнергии в сетях до 1000 В занимались ученые и исследователи, такие как М.Р. Найфельд, Ф.Я. Мотуско, О.К. Никольский, А.В. Луковников, А.И. Якобс, а вопросами контроля параметров нулевого провода – А.И. Сидоров, И.Ф. Суворов, Ю.В.Ситчихин.

В настоящее время существует несколько методов контроля непрерывности нулевого провода, основанных на разных принципах действия. Однако устройства, реализующие данные методы, обладают рядом недостатков либо имеют узкую направленность. Анализ способов и устройств контроля непрерывности нулевого провода позволил впервые разработать классификацию существующих способов по ряду признаков, приведенную на рис. 1.

Приведенная классификация способов контроля параметров нулевого провода позволила сформулировать следующие требования к разрабатываемому способу и устройству:

- непрерывность осуществления контроля;
- обеспечение приемлемой точности измерений вне зависимости от меняющихся внешних условий;
- способ не должен ухудшать надежность работы сети и качество электроэнергии;
- способ должен быть прост в осуществлении, надежен и удобен в эксплуатации;
- адаптация к изменяющимся условиям эксплуатации;
- удобство при эксплуатации;
- наличие доступной и простой индикации нормальных и аварийных режимов.

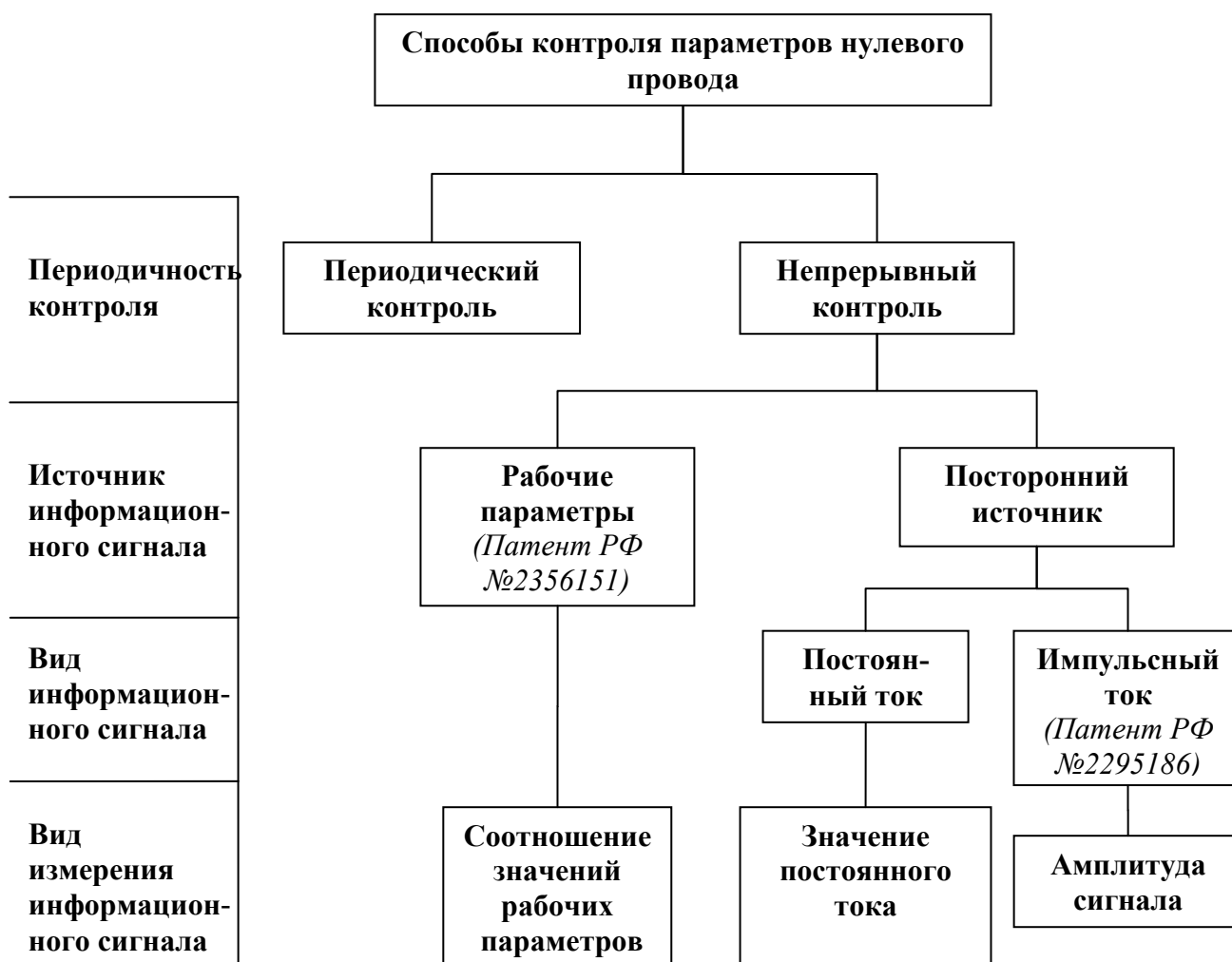


Рис. 1. Классификация способов контроля параметров нулевого провода

Для аналитического исследования соотношения режимных параметров системы «нулевой провод – совокупность повторных заземлителей» составлена схема замещения участка сети (рис. 2).

Приняты следующие исходные допущения:

- величины сопротивлений участков нулевого проводника  $R$  между повторными заземлителями будем считать равными и зависящими только от длины участка, а также удельного сопротивления и сечения материала провода;
- сопротивления повторных заземлителей  $R_{\Pi}$  будем считать равными  $R_{\Pi} = 30 \text{ Ом}$ ;
- землю будем считать проводником, близким к идеальному, и, соответственно, обладающую бесконечно малым сопротивлением;
- поскольку индуктивность петли «фаза – нуль» оказывает влияние лишь на величины фазных токов, в расчете схемы замещения ее влияние не учитывается;
- диапазон изменения длин воздушных линий от 100 до 3000 м.

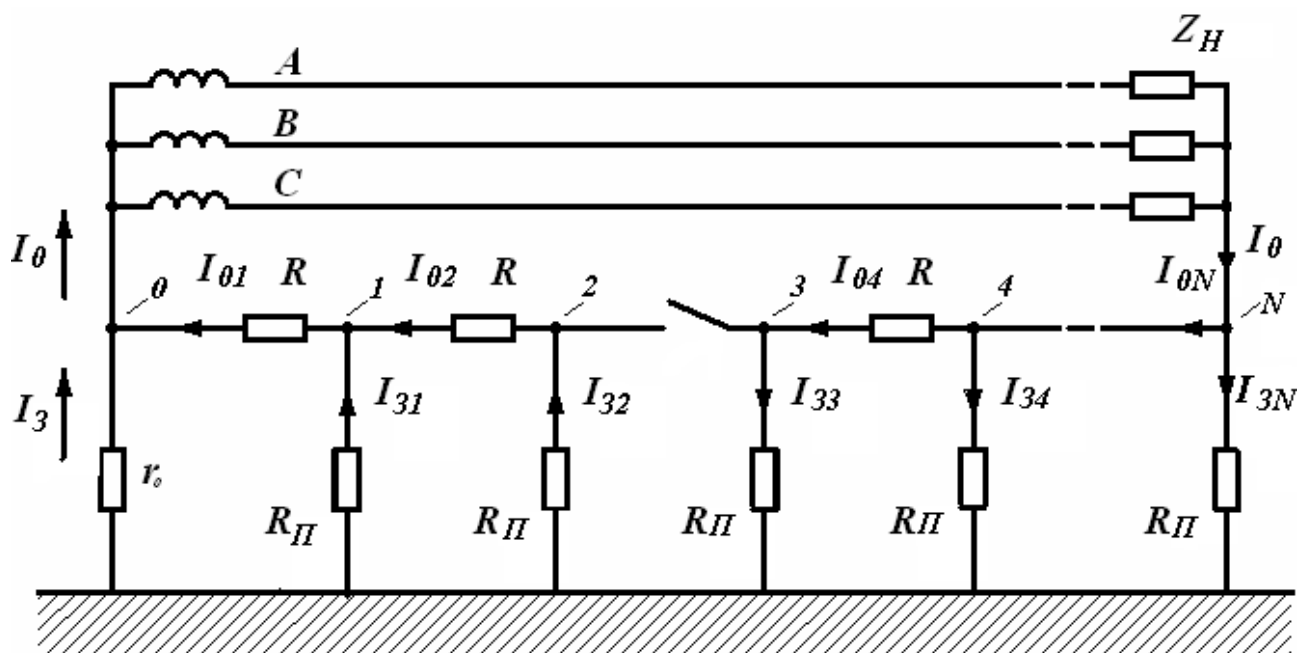


Рис. 2. Схема замещения участка сети 0,38 кВ

В ходе анализа схемы замещения для воздушных линий 0,38 кВ была установлена зависимость разности токов в нулевом проводе в начале линии и тока за первым повторным заземлителем, считая от источника питания.

Проведенные в диссертационной работе исследования зависимости разности токов в нулевом проводе  $\Delta I_0$  в начале линии  $I_{01}$  и тока за первым повторным заземлителем  $I_{02}$  от расстояния до места обрыва нулевого провода  $L_{ОБР}$  для различного количества повторных заземлителей  $N_{ПЗ}$  (см. рис. 2), позволили сделать вывод, что функция  $\Delta I_0 = f(L_{ОБР})$  имеет линейный характер и может быть представлена в виде:

$$\Delta I_0 = -k \cdot L_{ОБР} + B. \quad (1)$$

Коэффициенты  $k$  и  $B$  зависят от физических параметров сети (в частности, сопротивления заземления нейтрали трансформатора  $r_0$ , сопротивлений участков нулевого провода между повторными заземлителями  $R$ , сопротивлений самих повторных заземлителей  $R_{\Pi}$ , а также количества повторных заземлителей на линии  $N_{ПЗ}$ ):

$$k = \frac{I_{01}}{L} \cdot \frac{2R + 4 \frac{R \cdot r_0}{R_{\Pi}} + 3 \frac{R^2}{R_{\Pi}} + \frac{R^4}{R_{\Pi}^3}}{\frac{R \cdot r_0}{R_{\Pi}} + \frac{R^3}{R_{\Pi}^2} + r_0}, \quad (2)$$

$$B = I_{01} \cdot \frac{2R + \frac{R^2}{R_{\Pi}}}{R_{\Pi} + 3r_0 + \frac{r_0 \cdot R}{R_{\Pi}}}. \quad (3)$$

Коэффициенты  $k$  и  $B$  для уравнения (1) получены в результате эквивалентирования системы «нулевой провод – совокупность повторных заземлителей» для нормального и аварийных режимов работы.

Математическая модель системы реализована в модуле Simulink программной среды Matlab, которая является широко распространенным инструментом моделирования сложных процессов и динамических систем.

Модель содержит фазные источники ЭДС частотой 50 Гц, схему замещения ЛЭП с её параметрами, трансформатор с возможностью варьировать схему соединения обмоток, контур заземления, представленный продольными и поперечными составляющими сопротивлений, а также регистрирующие приборы – осциллографы.

Наиболее характерные зависимости для воздушных линий 0,38 кВ приведены на рис. 3 при следующих условиях моделирования: трансформатор ТМ-400/10, провод марки АС-35, длина линии 1 км, повторные заземлители (10 шт.) установлены через 100 м.

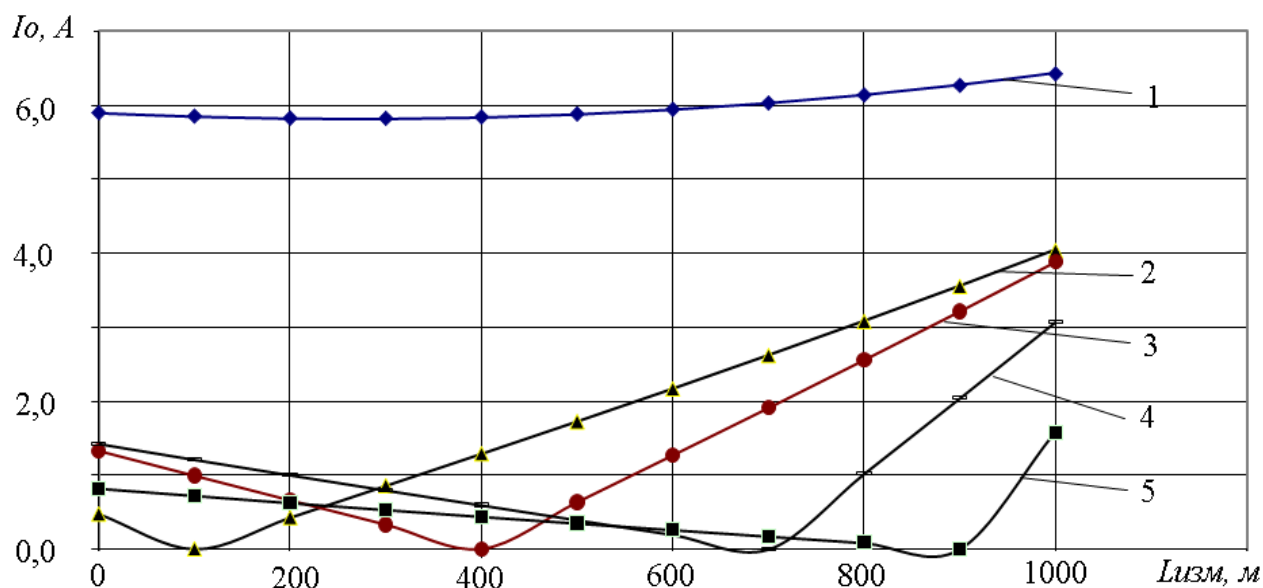


Рис. 3. Графики токов нулевого провода в зависимости от расстояния до места измерения  $I_0 = f(L_{изм})$ :  
 1 – для нормального режима работы;  
 2, 3, 4, 5 – при обрывах нулевого провода на расстояниях 100, 400, 700, 900 м по длине линии

На рис. 3 по оси абсцисс указаны расстояния от трансформаторной подстанции до места измерения тока в нулевом проводе  $L_{изм}$ , по оси ординат – величины токов нулевого провода  $I_0$  для нормального режима работы сети и для аварийных режимов работы при обрывах нулевого провода.

На рис. 4 представлено изменение  $\Delta I_0 = f(L_{обр})$ . Из графика видно, что  $\Delta I_0$  в зависимости от места обрыва нулевого провода меняется в пределах от 0,097 А до 0,473 А.

В нормальном режиме работы воздушной линии  $\Delta I_0^{норм} = 0,017 А = const$  (см. рис. 3, график 1).

Таким образом, для обеспечения чувствительности устройства при обрывах нулевого провода в любом месте по длине следует для данной воздушной линии выбрать уставку срабатывания устройства 0,1 А.

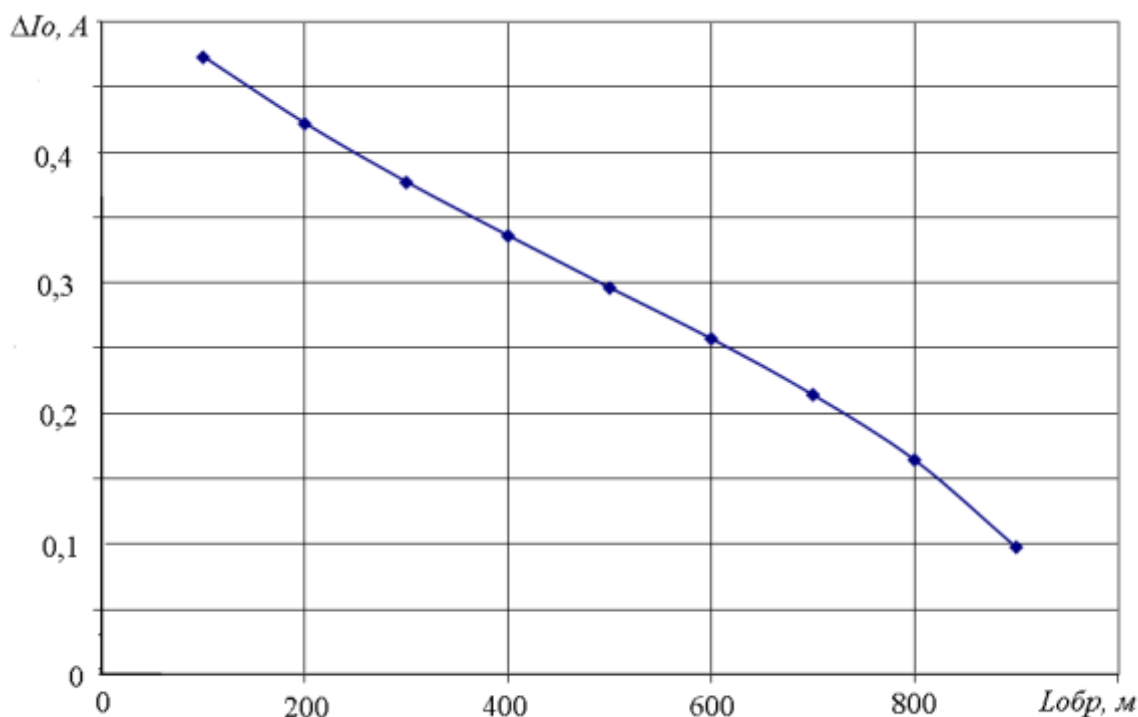


Рис. 4. График  $\Delta I_0 = f(L_{обр})$

Согласно результатам моделирования при диапазоне изменения длин линий 0,38 кВ от 100 до 3000 м при установке повторных заземлителей с интервалами 100 – 500 м уставку срабатывания меняются от 0,06 до 0,25 А, что позволяет определиться с выбором параметров элементной базы устройства.

Исследования участка сети 0,38 кВ на физической и электронной моделях и полученные зависимости  $\Delta I_0 = f(L_{обр})$  показали следующие результаты:

- При увеличении количества повторных заземлителей  $N_{ПЗ}$  разность  $\Delta I_0 = (I_{01} - I_{02})$  увеличивается. Однако максимальное количество повторных заземлителей ограничено длиной линии, которая по экономическим соображениям не выполняется протяженностью более 3 км. Поскольку расстояние между повторными заземлителями, регламентируемое ПУЭ, не должно превышать 100 м в самый неблагоприятный грозовой период, то наибольшее количество повторных заземлителей не превысит 30.

Зависимость  $\Delta I_0 = f(N_{ПЗ})$  для воздушной линии 0,38 кВ длиной 1 км приведена на рис. 5. Данная зависимость показывает, что величина  $\Delta I_0$  мало изменяется при количестве повторных заземлителей более трех;

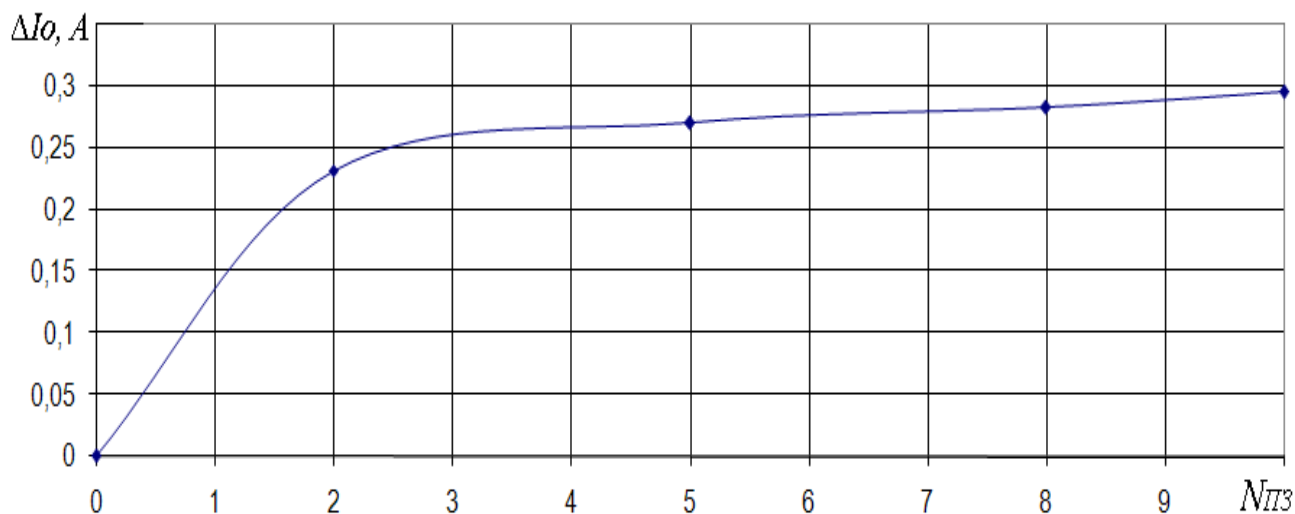


Рис. 5. График  $\Delta I_0 = f(N_{\text{ПЗ}})$

• При увеличении сопротивления растеканию тока повторных заземлителей  $R_{\text{П}}$  разность  $\Delta I_0 = (I_{01} - I_{02})$  уменьшается.

Зависимость  $\Delta I_0 = f(R_{\text{П}})$  для нормального режима работы приведена на рис. 6.

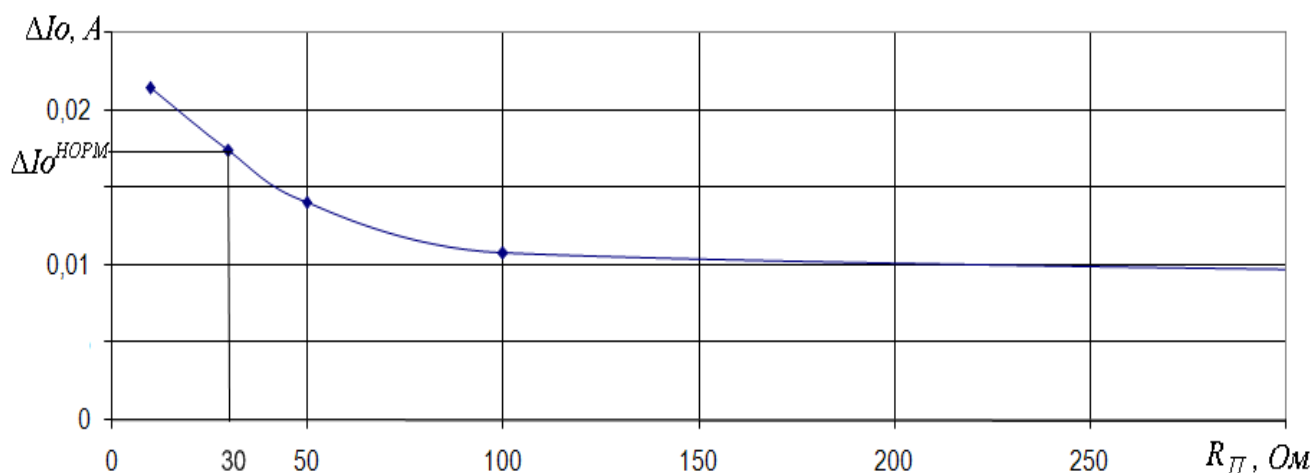


Рис. 6. График  $\Delta I_0 = f(R_{\text{П}})$  для нормального режима работы линии

Из графика, представленного на рис. 6, видно, что изменение разности токов  $\Delta I_0$  в пределах  $(0,6-1,3)\Delta I_0^{\text{НОРМ}}$  позволяет определить состояние повторных заземлителей (а также сезонные колебания сопротивления грунта, которые непосредственно влияют на сопротивление повторных заземлителей).

Зависимости  $\Delta I_0 = f(R_{\text{П}})$  при обрывах нулевого провода по длине линии приведены на рис. 7. Эта зависимость указывает на возможность ввода двух режимов работы устройства – «зима» (при изменении сопротивления повторных заземлителей от 100 до 300 Ом), «лето» (от 0 до 100 Ом), т.е. адаптировать устройство к изменяющимся условиям эксплуатации.

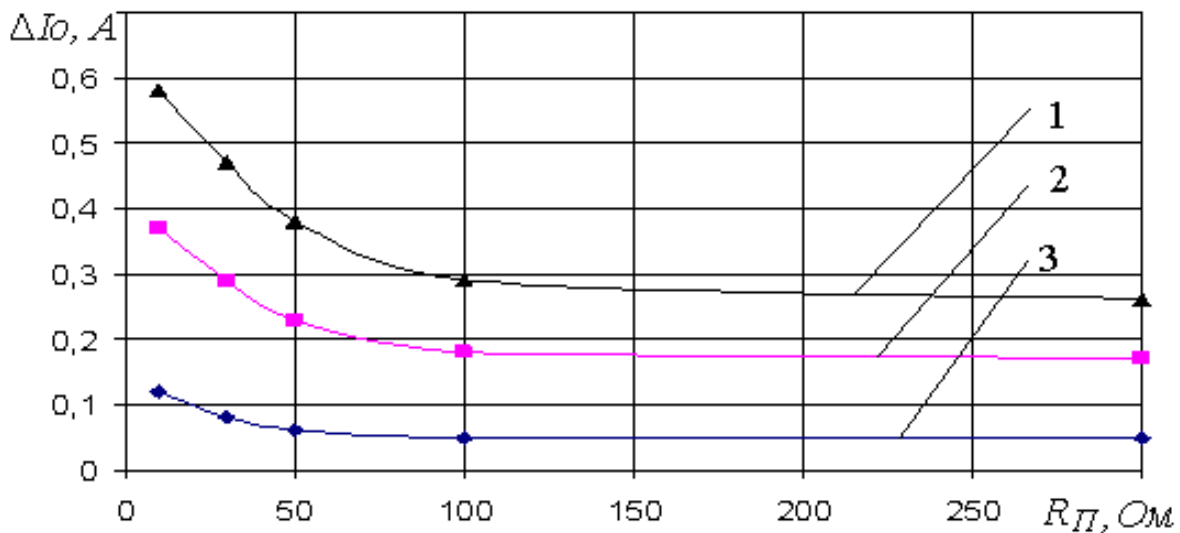


Рис. 7. Графики  $\Delta I_0 = f(R_n)$  при обрыве нулевого провода по длине на расстояниях: 1 – 100 м; 2 – 500 м; 3 – 900 м

График, представленный на рис. 7, указывает на изменение  $\Delta I_0$  при повреждении нулевого провода, качественно повторяющем изменение  $\Delta I_0$  для нормального режима работы линии;

- При увеличении  $L_{OBR}$  разность  $\Delta I_0 = (I_{01} - I_{02})$  уменьшается;
- Для нормального режима работы:

$$\Delta I_0^{норм} = I_{01} \cdot \frac{R}{R_n + n \cdot \left( \frac{r_0 \cdot (1 + R)}{R_n} + r_0 \right)} = const \ll \Delta I_0^{авар}; \quad (4)$$

• Разность  $\Delta I_0 = (I_{01} - I_{02})$  как для нормального режима работы, так и в случае ухудшения параметров нулевого провода зависит от эквивалентного сопротивления системы «нулевой провод – совокупность повторных заземлителей» для нормального и аварийного режимов работы нулевого провода;

• Из графиков, представленных на рис. 6 и 7 сделан вывод о возможности автоматической подстройки уставки срабатывания устройства в зависимости от сезонных колебаний сопротивления грунта (изменения сопротивления растеканию тока повторных заземлителей  $R_n$ ) на основе контроля разности  $\Delta I_0^{норм}$  при нормальном режиме работы воздушной линии 0,38 кВ.

Зависимости  $\Delta I_0 = f(L_{OBR})$  при сезонных колебаниях сопротивления грунта приведены на рис. 8.

Графики, представленные на рис. 8, позволяют сформулировать одно из важных требований к устройству контроля параметров нулевого провода в условиях широкого диапазона изменяющихся годовых температур – адаптивность, то есть способность оценить колебания сопротивления грунта и установить уставки срабатывания в каждом значении данного диапазона.

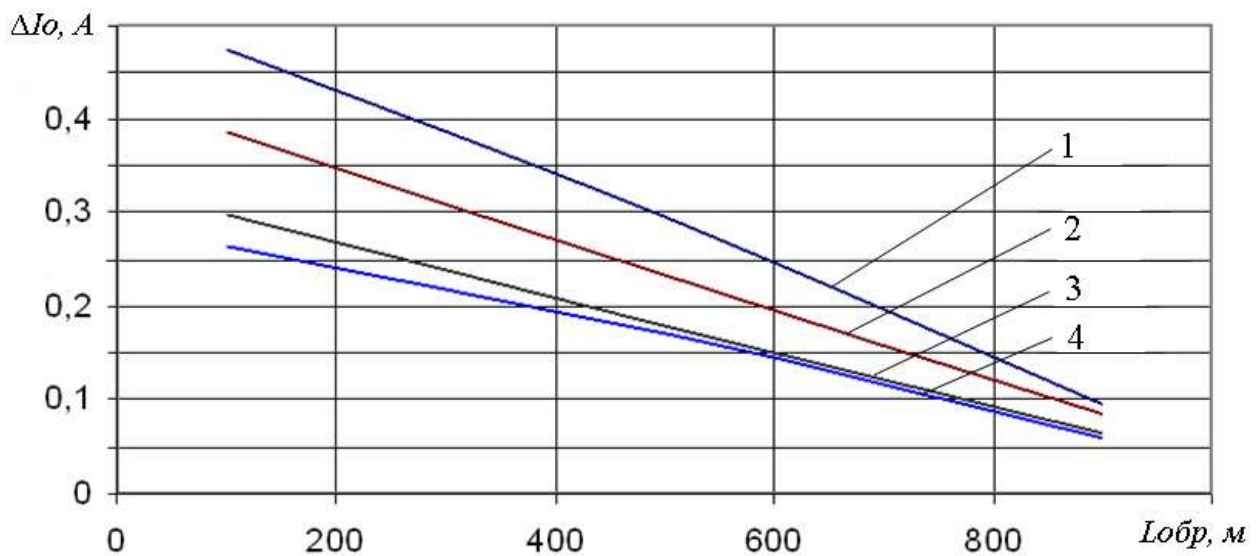


Рис. 8. Графики  $\Delta I_0 = f(L_{обр})$  при значениях сопротивлений повторных заземлителей: 1 – 30 Ом, 2 – 50 Ом, 3 – 100 Ом, 4 – 300 Ом

Аналогичные зависимости получены для воздушных линий 0,38 кВ различной протяженности с различным количеством установленных повторных заземлений.

Поверхность, отображающая зависимость  $\Delta I_0 = f(L_{обр}, R_{п})$  при  $N_{пз} = 10$ , представлена на рис. 9.

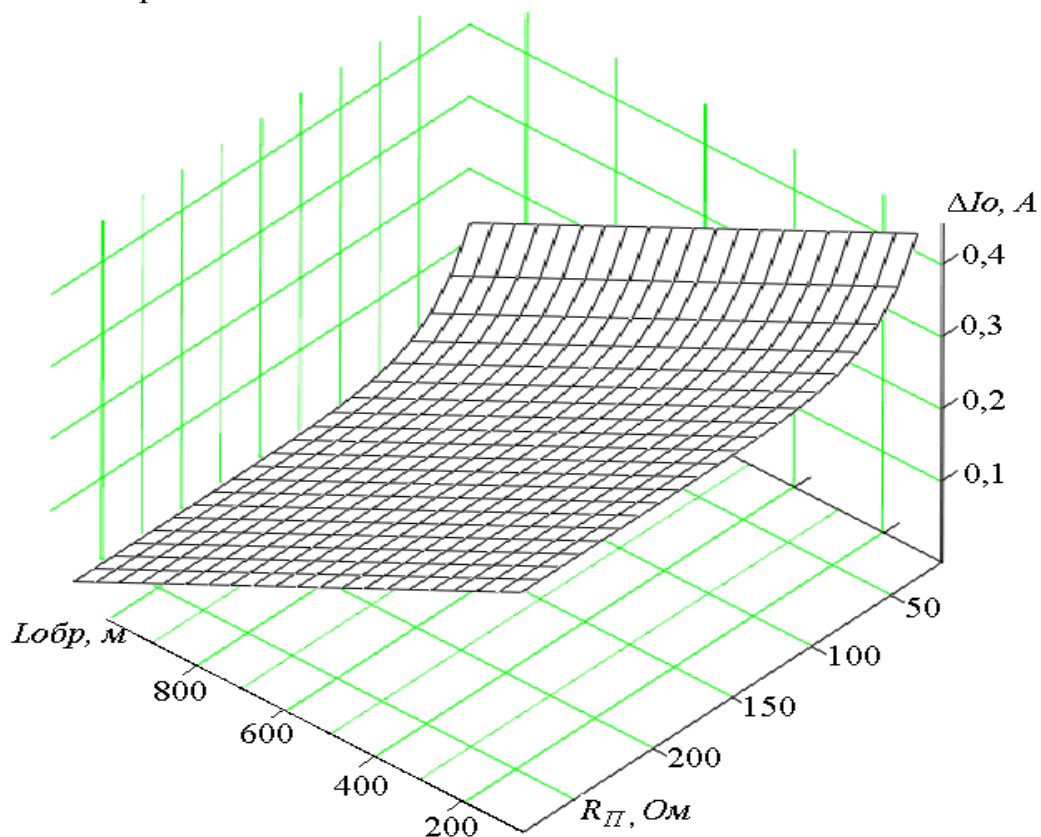


Рис. 9. График зависимости  $\Delta I_0 = f(L_{обр}, R_{п})$

Исследования также проводились на физической модели в лабораторном комплексе ГОУ ВПО «Читинский государственный университет» и в сетях 0,38 кВ филиала ОАО «МРСК Сибири» - «Читаэнерго» ПО «Читинские городские электрические сети», МУП «ГорСвет».

Физическая модель исследований в лабораторном комплексе ГОУ ВПО «Читинский государственный университет» представляла собой модель воздушной линии электропередачи, выполненной изолированным проводом сечением  $16 \text{ мм}^2$ ; длина линии 481,8 м; повторные заземлители (5 шт.) установлены через 98,3; 195,1; 292,5; 387,6; 481,3 м от начала линии соответственно; сопротивления повторных заземлителей  $R_{П1} = 29,7 \text{ Ом}$ ,  $R_{П2} = 50,9 \text{ Ом}$ ,  $R_{П3} = 231,2 \text{ Ом}$ ,  $R_{П4} = 146,0 \text{ Ом}$ ,  $R_{П5} = 237,1 \text{ Ом}$ ; гальваническая развязка выполнена с помощью разделительного трансформатора 0,4/0,4 кВ мощностью 4кВА; сопротивление заземления нейтрали трансформатора  $r_0 = 10,5 \text{ Ом}$ .

Результаты экспериментальных исследований и математического моделирования аналогичных режимов исследуемой линии представлены на рис. 10.

Из графиков, представленных на рис. 10, видно, что результаты экспериментов в реальной сети качественно повторяют результаты математического моделирования. Наибольшее расхождение экспериментальных данных с результатами математического моделирования аналогичной линии наблюдается при обрыве нулевого провода на расстоянии 100 м и составляет 8,2 %, что указывает на правильность применения математического аппарата при моделировании исследуемых режимов.

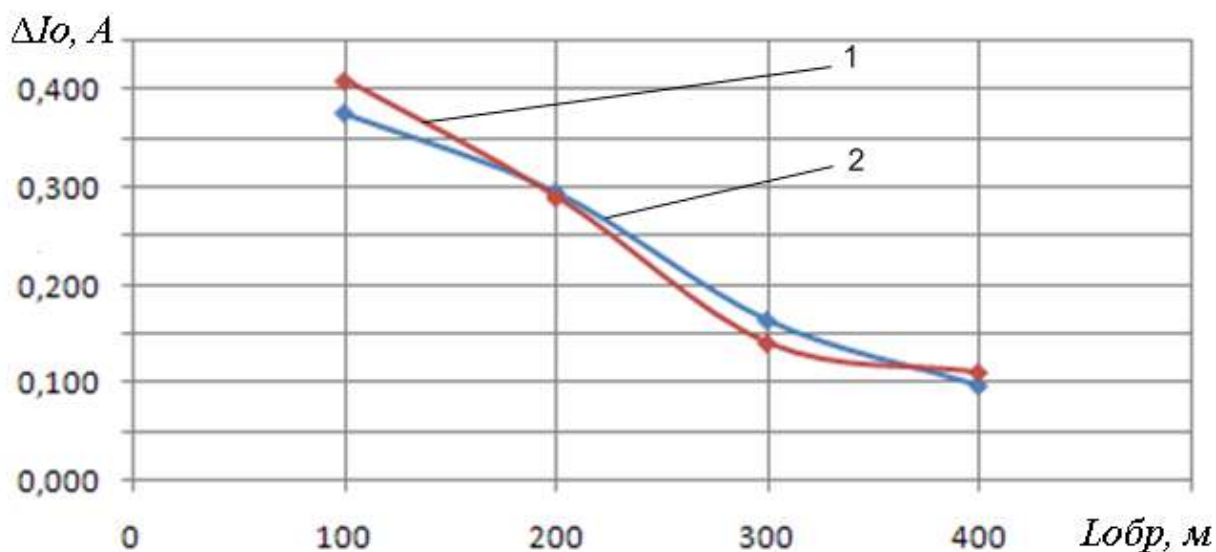


Рис. 10. Графики  $\Delta I_0 = f(L_{обр})$ : 1 – по результатам измерений в реальной сети, 2 – по результатам математического моделирования

После изучения соотношения режимных параметров в системе «нулевой провод – совокупность повторных заземлителей», моделирования нормальных и аварийных режимов работы сети, подтверждения результатов моделирования на физической модели и в эксплуатирующихся сетях 0,38 кВ сделан вывод о

возможности организации постоянного автоматического контроля непрерывности нулевого провода на основании измерения режимных параметров в схеме зануления. Критерием увеличения сопротивления или появления обрыва нулевого провода является условие:

$$\Delta I_0 > \Delta I_{0 \text{ норм.}} \quad (5)$$

Для реализации данного способа предлагается использовать цифровое устройство, выполненное на основе программируемого микроконтроллера, функциональная схема которого представлена на рис. 11.

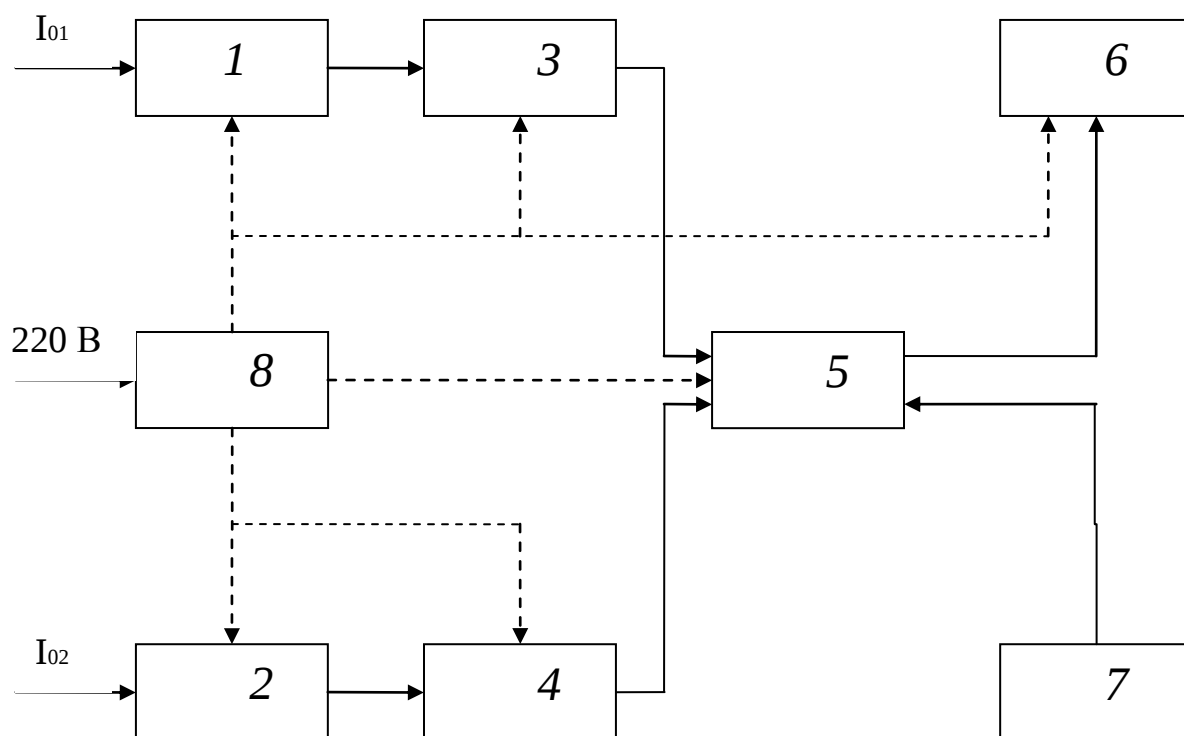


Рис. 11. Функциональная схема устройства автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных линий 0,38 кВ

Входные аналоговые модули 1,2 используются для измерения токов. Управляющие выходы аналоговых модулей соединяются со входами аналого-цифровых преобразователей 3, 4, осуществляющих функцию преобразования действующих значений токов в цифровые сигналы. Выходы аналого-цифровых преобразователей соединены с микроконтроллером 5, ведущим анализ цифровых сигналов. К микроконтроллеру подключается жидкокристаллический буквенно-цифровой индикатор 6, необходимый для отображения результатов измерения контролируемых величин, и клавиатура 7, используемая для настройки устройства. Питание блоков 1, 2, 3, 4, 5 осуществляется от блока питания 8, преобразующего переменное напряжение 220 В в необходимые напряжения.

Алгоритм работы устройства с функцией адаптивности представлен на рис. 12.

В процессе измерения токов в нулевом проводе в начале линии  $I_{01}$  и током в нулевом проводе за первым повторным заземлителем  $I_{02}$  аналоговые модули 1, 2 постоянно передают данные в аналого-цифровые преобразователи 3, 4, цифровые сигналы с которых непрерывно поступают на микроконтроллер 5. Микроконтроллер по значениям токов  $I_{01}$ ,  $I_{02}$  определяет значение разности токов  $\Delta I_0$  и при превышении этой разности минимально допустимого значения формирует сигнал на отключение линии и информационное сообщение о неисправности (величина уставки срабатывания для режимов «зима», «лето»; значение разности токов  $\Delta I_0$ ; зона, в которой поврежден нулевой провод), которое отобразится на жидкокристаллическом буквенно-цифровом индикаторе 6.

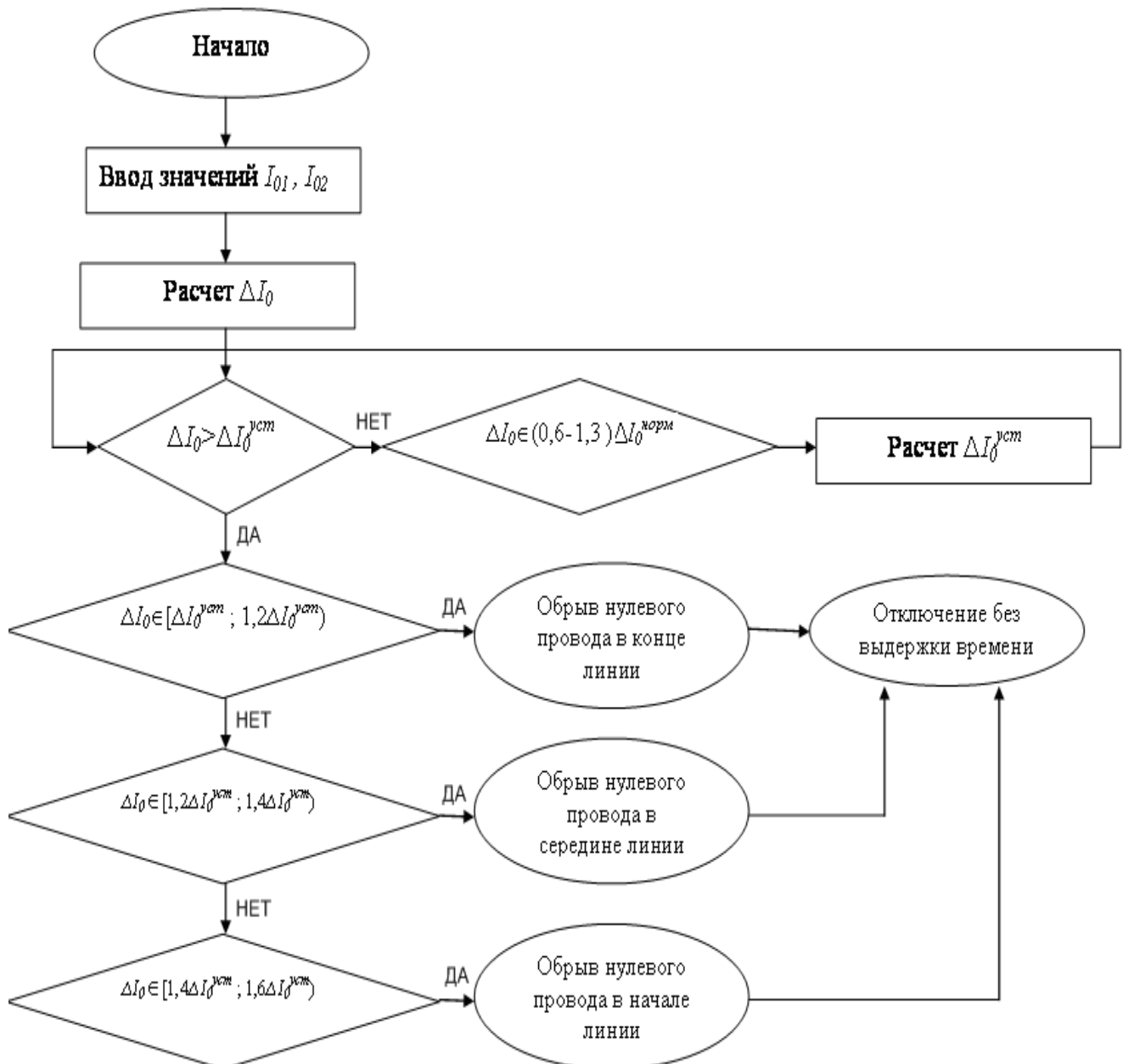


Рис. 12. Алгоритм идентификации повреждения нулевого провода в условиях изменяющегося сопротивления грунта

Предложенное устройство позволяет не допускать отклонения показателей качества в допустимых пределах и повысить надежность при эксплуатации электрических сетей 0,38 кВ, уровень электро- и пожаробезопасности за счет постоянного автоматического контроля, минимального времени определения аварийной ситуации и дополнительного определения места обрыва нулевого провода.

Разработанное устройство успешно испытано на модели сети 0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью и внедрено в опытную эксплуатацию на ТП №123 ОАО «МРСК Сибири» – «Читаэнерго» ПО «Читинские городские электрические сети» (фидер №6 – «Горсвет - Ингода»).

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научно-технической задачи повышения уровня электробезопасности путем организации непрерывного контроля параметров системы «нулевой провод – совокупность повторных заземлителей», позволяющего своевременно обнаружить обрыв нулевого проводника и произвести отключение аварийного участка.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно отметить следующие основные результаты и сделать выводы:

1. Впервые разработана классификация способов и устройств контроля параметров нулевого провода в сетях 0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью. Сформулированы требования к разрабатываемому способу и устройству.
2. Установлена зависимость, связывающая режимные параметры в схеме заземления (к которым относятся действующее значение тока в нулевом проводнике в начале линии и действующее значение тока за первым повторным заземлителем) для воздушной линии 0,38 кВ в нормальном режиме работы. Проведено исследование влияния возможных режимов и физических параметров линии на характер вышеуказанной зависимости.
3. Получены зависимости для режимных параметров в схеме заземления при возникновении обрыва нулевого провода. При этом разность токов в нулевом проводнике в начале линии и тока за первым повторным заземлителем превышает значение, измеренное для нормального режима с учетом колебания несимметрии нагрузки и сезонности колебаний сопротивлений повторных заземлений, что делает возможным организацию постоянного контроля непрерывности нулевого провода по режимным параметрам, а за счет предварительного графического анализа изменения разности токов в зависимости от места обрыва, представляется возможным определение места обрыва нулевого провода с учетом заданной погрешности.
4. В случае обрыва нулевого провода или недопустимого увеличения его сопротивления - значение разности токов  $\Delta I_0$  резко возрастает до величины уставки  $\Delta I_0 = (8 - 10) \times \Delta I_0^{\text{НОРМ}}$ , что позволяет организовать постоянный автоматический контроль параметров нулевого провода.

5. Уставка срабатывания устройства в зависимости от диапазона изменения длин линий 0,38 кВ и размаха колебаний сопротивления грунтов меняется в пределах 0,06 – 0,25 А.
6. Изменение разности токов  $\Delta I_0$  в пределах  $(0,6 - 1,3) \times \Delta I_0^{\text{НОРМ}}$  позволяет определить состояние повторных заземлителей (обрыв, а также сезонные колебания сопротивления грунта, напрямую влияющие на сопротивление повторных заземлителей), за счет чего реализуется одна из важнейших функций разработанного устройства – адаптивность.
7. На основании проведенных аналитических и экспериментальных исследований разработаны функциональная и принципиальная схемы адаптивного устройства автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных линий 0,38 кВ. Внедрение способа и устройства контроля параметров нулевого провода воздушных линий 0,38 кВ позволяет снизить риск возникновения электроопасных ситуаций для систем электроснабжения 0,38 кВ с глухозаземленной нейтралью в 8,2 раза.

Внедрение в практику эксплуатации электроустановок разработанных способа и устройства автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных линий 0,38 кВ позволяет повысить уровень электро- и пожаробезопасности при эксплуатации систем электроснабжения 0,38 кВ.

**Основные положения диссертации отражены в следующих публикациях:**

**Статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК**

1. **Серёжин, К.С.** Способ автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных и кабельных линий 0,4 кВ [Текст] / К.С. Серёжин, И.Ф. Суворов, В.В. Гальцев, А.И. Сидоров // *Электробезопасность*.– 2005.– № 2. – С. 17–22.
2. **Серёжин, К.С.** Способ автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных линий 0,4 кВ [Текст] / К.С. Серёжин, И.Ф. Суворов, А.И. Сидоров // *Вестник ЮУрГУ*.– Челябинск: Южно-Уральский государственный университет, 2009. – С. 23–26.

**Монографии и статьи**

3. **Серёжин, К.С.** Способы и устройства контроля параметров нулевого провода для систем электроснабжения с глухозаземленной нейтралью до 1000 В [Текст]: монография / К.С. Серёжин, И.Ф. Суворов, С.А. Филиппов.– Чита: Забайкальский институт железнодорожного транспорта, 2010. – 136 с.
4. **Серёжин, К.С.** Обзор методов контроля непрерывности нулевого проводника в системах электроснабжения с глухозаземлённой нейтралью [Текст] / К.С. Серёжин // *Сборник докладов «Второй Российской конференции по заземляющим устройствам»*.– Новосибирск: Сибирская энергетическая академия, 2005. – С. 209–213.
5. **Серёжин, К.С.** Способ автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных линий 0,4 кВ [Текст] / К.С. Серёжин, И.Ф. Суворов // *Сборник докладов «Десятой Российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной*

безопасности ЭМС-2008». – Санкт-Петербург: Российская академия наук, 2008. – С. 502-508.

6. **Серёжин, К.С.** Устройство автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных линий 0,38 кВ с функцией адаптивности [Текст] / К.С. Серёжин, И.Ф. Суворов, А.И. Сидоров // *Электробезопасность*. – 2009. – № 1 – С. 10-15.

#### **Патенты РФ**

7. **Патент № 2295186 Российская Федерация, МПК H02H 5/00.** Способ автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных и кабельных линий 0,4 кВ и устройство для его осуществления / Серёжин К.С., Суворов И.Ф., Гальцев В.В., Сидоров А.И.; заявитель и патентообладатель ЧитГУ. №2005140871/09; заявл. 26.12.05; опубл. 10.03.2007, Бюл. №7.
8. **Патент № 2356151 Российская Федерация, МПК H02H 5/00.** Способ автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных линий 0,4 кВ / Серёжин К.С., Суворов И.Ф., Сидоров А.И.; заявитель и патентообладатель ЧитГУ. №2008105851/09; заявл. 15.02.08; опубл. 20.05.2009, Бюл. №14.

Серёжин Константин Сергеевич

РАЗРАБОТКА СПОСОБА И АДАПТИВНОГО УСТРОЙСТВА  
КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ НУЛЕВОГО ПРОВОДА  
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 0,38 кВ

Специальность 05.26.01 – «Охрана труда (электроэнергетика)»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук