

Отчет Филатова Г.А. 2024 г.

Сведения о достигнутых конкретных научных результатах в отчетном году (от 1 до 5 стр. (2-10 тыс. символов))

1. Реализованы функции РЗА в макетном образце цифрового блока ЦТТН 6(10) кВ. В электронном блоке ЦТТН реализовано две функции – определение места междуфазного короткого замыкания (КЗ) и определение поврежденного участка при однофазном замыкании на землю (ОЗЗ). Выделение первой гармоники (для пусковых органов и определения направления ОЗЗ) осуществляется БПФ, для исключения случайных колебаний и попаданий в зону срабатывания (например, при дуговых ОЗЗ) может вводиться медианный фильтр.

Разработанные функции позволяют значительно уменьшить время на поиск места повреждения любого вида. Для разработанных алгоритмов может использоваться стандартная методика выбора уставок, изложенная в СТО 56947007-29.120.70.305-2020. Методические указания для выбора параметров настройки и срабатывания МП устройств РЗА оборудования 6-35 кВ объектов ЕНЭС.

Несмотря на то, что для междуфазных КЗ в сетях 6-10 кВ характерны величины переходных сопротивлений порядка нескольких Ом, функция определения места междуфазного КЗ также была протестирована и при больших переходных сопротивлениях. Также отметим, что большие переходные сопротивления характерны прежде всего для устойчивых ОЗЗ.

По результатам исследований, обе функции обеспечивают чувствительность к устойчивым повреждениям через большие переходные сопротивления (не менее 1000 Ом).

2. Разработана методика исследования работы функции РЗА, реализованной непосредственно в цифровом блоке ЦТТН 6(10) кВ

Разработанная методика позволяет проводить экспериментальные исследования работы ЦТТН и реализованных в нем функций в условиях, приближенных к реальным электроустановкам. Разработанная методика исключает физическое моделирование открытой дуги, позволяет достаточно точно задавать закон изменения электрических величин при ДПОЗЗ.

Кроме того, применение комплекса моделирования в режиме реального времени RTDS позволяет автоматизировать проведение исследований, например, при задании автоматического изменения удаленности ОЗЗ от шин и величины переходного сопротивления в месте ОЗЗ.

В методике приведены критерии оценки работы функции РЗА, реализованной непосредственно в электронном блоке ЦТТН.

Разработанная методика имеет практическую ценность, и может применяться разработчиками измерительных трансформаторов тока и напряжения (в том числе, цифровых).

Создан банк осциллограмм ОЗЗ различных видов (порядка 20 000 осциллограмм), который может использоваться для исследования работы ЦТТН и устройств РЗА при данных видах повреждений.

3. Получены результаты исследования функции РЗА, встроенной в цифровой блок ЦТТН 6(10) кВ.

Получены следующие результаты исследования функции определения места КЗ:

- селективность срабатывания в 100% случаев;
- чувствительность к переходным сопротивлениям до 1000 Ом;
- погрешность не более 3% от длины линии;
- время работы алгоритма: 20 мс (базовое значение), 40 мс при использовании медианного фильтра.

Получены следующие результаты исследования функции определения направления ОЗЗ:

- правильная работа при внутренних ОЗЗ (селективность при дуговых и устойчивых ОЗЗ);
- правильная работа (селективность) при внешних ОЗЗ в 94% моделируемых случаев;
- отказы функционирования при внешних ОЗЗ в 6% случаев, связанные с излишним срабатыванием (неселективность действия);
- чувствительность к переходным сопротивлениям до 1000 Ом;
- время работы алгоритма: 20 мс (базовое значение), 40 мс при использовании медианного фильтра.

Отметим, что излишнее срабатывание при внешних ДПОЗЗ, при организации направленной защиты от ОЗЗ, подключаемой к традиционным трансформаторам тока и напряжения, также отмечалось рядом авторов (например, Шалин А.И. Замыкания на землю в сетях 6–35 кВ. Случаи неправильных действий защит // Новости ЭлектроТехники. – 2005. – № 2(32). – С. 58–61).

Результаты моделирования (в рамках дополнительных исследований) также показали, что повысить отстроенность от дуговых ОЗЗ позволит использование мультисигментного принципа выполнения функции определения направления ОЗЗ. Данный принцип будет также реализован на макетном образце ЦТТН и исследован в рамках диссертационной работы Кузьминой Н.В.

4. Оценен экономический эффект от внедрения технологий на основе ЦТТН 6(10) кВ. Разработана модель, позволяющая ценить притоки и оттоки при уставке ЦТТН, рассчитать годовые экономические эффекты (при заданной норме дисконтирования), рассчитать базовые показатели оценки инвестиционного проекта и оценить наиболее эффективные места установки ЦТТН в данной сети.

При заданных исходных данных, которые считаются неизменными для данной сети (например, стоимости ЦТТН, показателях надежности и т.д.) можно выделить критерии, по которым установка ЦТТН будет целесообразна (например, при стоимости работ по поиску ОЗЗ более 6000 р/ч).

Получено, что для модели РЭС, собранной, в том числе, на основе статистических данных о РЭС европейской части РФ, основные экономические показатели будут следующими:

- IRR внутренняя норма доходности 43%;
- PP простой срок окупаемости 4 года;
- дисконтируемый срок окупаемости 5 лет.

5. Сделаны следующие общие выводы по работе:

- ЦТТН выдерживает воздействие перенапряжений при ДПОЗЗ, испытано при небольшой длительности замыканий (максимально достигнутая на установке длительность ОЗЗ составила 1 с при уровне перенапряжений на неповрежденных фазах до 18 кВ (3,6U<sub>ном.ф.</sub>));
- ЦТТН может использоваться в качестве источника сигнала для релейной защиты, основанной на измерении сигналов низкой частоты (до 9 гармоники);
- собственные встроенные в ЦТТН функции РЗА позволяют уменьшить время на поиск повреждения;
- экономический эффект от установки ЦТТН достигается за счет снижения операционных затрат за счет уменьшения времени поиска ОЗЗ, за счет увеличения выручки на счет снижения недоотпуска электроэнергии при переходе ОЗЗ в КЗ, за счет увеличения объема электроэнергии для расчета выручки вследствие увеличения точности измерения. Данные эффекты могут быть рассчитаны на модели, для конкретной сети.

6. Опубликованы 4 статьи, рецензируемые в Scopus и RSCI.

Опубликовано 3 работы в изданиях (сборниках трудов конференций), индексируемых в БД Scopus, 1 работа в периодическом журнале, индексируемом в RSCI.  
Для одной статьи получено приглашение для печати в IEEE Transactions on Industry Applications, квартиль Q1, публикация планируется в 2025 году.

7. Результаты исследований представлены на 3 научно-технических конференциях:  
– Международная научно-техническая конференция «Проминжиниринг-2024» (май 2024, г. Сочи);  
– Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых ЭНЕРГИЯ–2024) (май 2024, г. Иваново);  
– Международная научно-техническая конференция "Автоматизация" (сентябрь 2024, г. Сочи).

8. Результаты исследований составляют часть выпускной-квалификационной работы (ВКР) студентов ИГЭУ, Пискунова Д. и Исакова Е. ВКР Пискунова Д получила I место в Седьмом всероссийском открытом конкурсе работ студентов и аспирантов по электроэнергетической и электротехнической тематикам, выполненных с использованием симуляторов.

<https://ennlab.ru/news/reshenie-zhjuri-o-pobediteljah-vii-konkursa-studencheskih-rabot/>

9. Результаты исследований составят часть диссертационной работы Кузьминов Н.В. Ранее, после окончания аспирантуры, в 2023 году Кузьминой была успешно защищена научно-квалификационная работа (НКР), в которой использовались результаты работы по I году данного Соглашения.