

ОТЧЕТ  
О НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ,  
выполненных в 2017/18 г.г. по Гранту РФ  
(соглашение № 17-79-10455, научный руководитель к.т.н., м.н.с. Яблоков А.А.)

**«Информационная система на основе цифровых трансформаторов тока и напряжения для интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью»**

Выполненные работы

1. Разработаны гибридные (полевые (с распределенными параметрами) и цепные (с сосредоточенными параметрами)) имитационные математические модели первичных преобразователей цифрового трансформатора тока и напряжения. Выполнена верификация моделей по данным физических экспериментов.

2. Разработаны алгоритмы диагностики электронных блоков цифровых трансформаторов, диагностики насыщения малогабаритного трансформатора тока, диагностики теплового состояния первичного преобразователя напряжения на основе резистивного делителя, диагностики состояния изоляции первичных преобразователей, диагностики метрологических характеристик датчика постоянного тока.

3. Разработаны компьютерные модели цифровой обработки данных в соответствии с алгоритмами диагностики в программном пакете MATLAB.

4. Выполнены исследования алгоритмов диагностики на разработанных имитационных моделях первичных преобразователей цифровых трансформаторов и моделях цифровой обработки данных. Все разработанные алгоритмы показали свою работоспособность.

5. Для исследования электромагнитных переходных процессов в электрических сетях в программном комплексе Matlab+Simulink были разработаны имитационные математические модели электрических сетей 110 – 330 кВ с односторонним питанием – упрощенные и комплексные, отражающие конфигурацию реальных районов нагрузок. Модели отличаются возможностью учета влияния различных факторов, т.е. могут содержать модели дуги, модели первичных преобразователей, различной электрической нагрузки и т.д.

6. Разработан алгоритм дистанционного определения мест повреждения (ДОМП) повышенной точности на основе замера мгновенных значений производной тока и мгновенных значений напряжения. Показаны недостатки существующих традиционных трансформаторов тока и приведена оценка их влияния на точность замера расстояния до места повреждения. Проведены экспериментальные исследования образцов поясов Роговского и исследования на имитационных моделях. Показано, что линейность амплитудно-частотной и фазочастотной характеристики, а также отсутствие насыщения от апериодической составляющей тока короткого замыкания (КЗ) позволяют получить точные мгновенные значения производной первичного тока в нормальном режиме и при КЗ. Выявлены преимущества использования пояса Роговского в алгоритмах определения мест повреждения по сравнению с традиционными электромагнитными трансформаторами.

7. Разработана компьютерная модель цифровой обработки данных в соответствии с алгоритмом ДОМП на основе замера мгновенных значений. Обоснована необходимость выполнения пускового органа, а также основные варианты его выполнения (на основе метода симметричных составляющих; по скорости изменения величин переходного процесса; по соотношениям фазных величин и др.).

8. На имитационных моделях электрических сетей были проведены исследования влияния различных искажающих замер факторов на точность ДОМП. Показано, что наибольшее влияние метод получения (или расчета) производной тока оказывает на первый замер (при первом броске тока). Получено, что пояс Роговского представляет собой

«идеальный» дифференциатор, т.е. аналогичен расчету производной на методе двухсторонней разности, но не вносит вычислительных ошибок, что в наибольшей степени проявляется при первом замере. Погрешность способа при наличии переходного сопротивления порядка 20-50 Ом составляет менее 1%. Точность замеров по разработанному способу ДОМП не зависит от удаленности КЗ и от возможных изменений электрической нагрузки.

9. Выполнен обзор более 100 научных публикаций в российских и иностранных журналах по коммерческому учету электроэнергии и показателям качества. Выполнены исследования АЧХ и ФЧХ цифровых трансформаторов тока и напряжения с поясом Роговского, малогабаритным трансформатором тока, датчиком постоянного тока, резистивным делителем, а также традиционных электромагнитных трансформаторов тока и напряжения, емкостных делителей напряжения. Разработан алгоритм коммерческого учета электроэнергии и определения показателей качества по выборкам тока и напряжения, учитывающий АЧХ и ФЧХ цифровых трансформаторов тока и напряжения.

10. Разработаны компьютерные модели цифровой обработки данных в соответствии с алгоритмами коммерческого учета электроэнергии и определения показателей качества в программном пакете MATLAB.

11. Выполнены исследования алгоритмов коммерческого учета электроэнергии и определения показателей качества по выборкам тока и напряжения на разработанных компьютерных моделях при несинусоидальных режимах, наличии остаточной намагниченности магнитопровода трансформатора тока, отклонениях частоты, наличии шума, провалах и прерываниях напряжений, и других воздействиях.

12. Разработана программа для ЭВМ, выполняющая прием и обработку пакетов стандарта МЭК 61850-9-2-LE, отображения формы изменения значений токов и напряжений, расчета действующих значений и фазовых отклонений между сигналами, отображения векторных диаграмм, на основе рассчитанных значений, а также коммерческого учета электроэнергии и определения показателей качества электроэнергии.

13. Разработана эскизно-конструкторская документация на модули системы диагностики цифровых трансформаторов тока и напряжения.

14. Созданы модули системы диагностики. Выполнены исследования работоспособности модулей питания, их КПД и стабильности характеристик, работоспособности модулей измерения температуры.

Полученные результаты

1. Трехмерные распределенные гибридные математические модели тепловых и электромагнитных полей цифровых трансформаторов тока и напряжения и методики их создания.

2. Математические имитационные модели кабельных и воздушных сетей различных классов напряжений в программном комплексе Matlab+Simulink: упрощенные и комплексные, отличающиеся возможностью учета различных искажающих замер факторов.

3. Алгоритм диагностики насыщения и остаточной намагниченности магнитопроводов трансформаторов тока в режиме реального времени.

4. Алгоритм диагностики электронных блоков цифровых трансформаторов в режиме реального времени.

5. Алгоритм диагностики теплового состояния первичного преобразователя напряжения цифрового трансформатора на основе резистивного делителя в режиме реального времени и методика выбора мест установки датчиков температуры для системы тепловой диагностики резистивного делителя.

6. Алгоритм диагностики состояния изоляции первичных преобразователей в режиме реального времени.

7. Алгоритм диагностики метрологических характеристик датчика постоянного тока цифровых трансформаторов в режиме реального времени.

8. Компьютерные модели цифровой обработки данных в соответствии с разработанными алгоритмами диагностики.

9. Способ дистанционного определения мест повреждений (ДОМП) на основе одностороннего замера параметров аварийного режима при различных видах КЗ с использованием производной тока от пояса Роговского.

10. Модель цифровой обработки данных для реализации алгоритма ДОМП на основе использования сигналов первичных величин с нетрадиционных датчиков цифровых трансформаторов тока и напряжения.

11. Алгоритм ДОМП, обладающий повышенной точностью и устойчивостью функционирования в условиях влияния различных искажающих замер факторов, с использованием входных величин с цифровых трансформаторов тока и напряжения.

12. Алгоритм коммерческого учета электроэнергии и определения показателей качества по выборкам тока и напряжения от цифровых трансформаторов тока и напряжения, работающие в режиме реального времени.

13. Программа для ЭВМ, выполняющая функции коммерческого учета электроэнергии и определения показателей качества по выборкам тока и напряжения, формируемым в соответствии с протоколом IEC 61850-9-2LE.

14. Модули системы диагностики цифровых трансформаторов тока и напряжения.

15. Заявка на получение свидетельства на программу для ЭВМ, выполняющей функции коммерческого учета электроэнергии и определения показателей качества по выборкам тока и напряжения, формируемым в соответствии с протоколом IEC 61850-9-2LE.

16. Три статьи по результатам выполненных разработок и исследований в изданиях, индексируемых в базе данных «Скопус» (Scopus), и две статьи в изданиях, учитываемых РИНЦ.