

**Результаты выполнения 5 этапа Соглашения №14.574.21.0072 о
предоставлении субсидии от 27 июня 2014 года**

В результате выполнения Соглашения №14.574.21.0072 о предоставлении субсидии от 27 июня 2014 года по теме «Разработка и исследование цифровых трансформаторов напряжения 110 кВ, основанных на фундаментальных физических законах с оптоэлектронным интерфейсом для учета электроэнергии в интеллектуальной электроэнергетической системе с активно-адаптивной сетью» получены следующие результаты:

Аналитический обзор научно-технических публикаций, выполненный на первом этапе ПНИ, в рамках исследования и создания первичных преобразователей напряжения показал значительное количество работ посвященных данной тематике, что подтверждает актуальность работ в рамках ПНИ. Основная часть работ в области разработки высоковольтных делителей напряжения отражена в публикациях зарубежных авторов в иностранных издательствах и посвящена использованию оптических трансформаторов напряжения и емкостных делителей напряжения в качестве первичных преобразователей цифровых трансформаторов.

Выполненные исследования на разработанных в рамках ПНИ математических моделях и обзор литературы показали, что емкостные делители напряжения имеют такие недостатки как неравномерность амплитудно-частотной характеристики, препятствующая достоверному определению процентного содержания высших гармоник в кривой первичного напряжения, что необходимо для анализа качества электроэнергии, не всегда достаточная точность измерений, поскольку высоковольтные конденсаторы на основе различных диэлектриков характеризуются диэлектрическими потерями и имеют существенную зависимость электрической емкости от приложенного напряжения и температуры, невозможность работы на постоянном токе, наличие

остаточных зарядов, что приводит к высокой погрешности измерения при их повторном включении в переходных режимах.

Результаты исследований на математических моделях и по аналитическим формулам также показали, что оптические трансформаторы напряжения имеют значительное влияние на погрешность измерений электрического поля токоведущих элементов соседних фаз и другого оборудования. Кроме того, при аналитическом обзоре были обнаружены работы, в которых отмечалось, что выходной сигнал оптических трансформаторов подвержен влиянию внешних факторов, таких как температура, вибрация и давление, что отрицательно сказывается на погрешности измерений.

На основе аналитического обзора, теоретических исследований в области создания цифрового трансформатора напряжения и исследований на математических моделях емкостного, активно-емкостного, резистивного и других преобразователей напряжения, направленных на определение выбора дальнейших исследований в рамках ПНИ с учетом требований, которые определяются сочетанием высокой точности измерений, широким частотным диапазоном, низкой стоимости, возможностью работы в условиях современных электроэнергетических объектов (в открытых и закрытых распреустройствах), взрыво- и пожаробезопасности, низкими массогабаритными показателями, высокой адаптацией с интеллектуальными энергетическими системами были выбраны наиболее перспективные первичные преобразователи напряжения цифрового трансформатора:

- трансформатор напряжения с разомкнутым магнитопроводом;
- резистивный делитель напряжения.

Выполненные патентные исследования на первом, втором и четвертом этапах ПНИ показали, что разработанные в рамках проекта технические решения не нарушают патентных прав третьих лиц и обладают патентной

чистотой. В связи с этим было получено 7 патентов на полезные модели и 5 свидетельств на программы для ЭВМ.

Теоретические исследования в области создания цифровых трансформаторов напряжения позволили разработать варианты решений, в которых электронно-преобразующее устройство находится в непосредственной близости от первичных преобразователей. Данное решение целесообразно использовать для измерительных преобразователей, рассчитанных на классы напряжений от 35 кВ и выше (110, 220) кВ. Размещение аналого-цифрового преобразователя в непосредственной близости с первичным преобразователем напряжения и передача оцифрованных значений по оптическому волокну исключит погрешности, связанные с наводками на вторичные цепи и с использованием разделительных трансформаторов, явление выноса высокого потенциала с места короткого замыкания на щит управления.

Анализ и сравнение возможных материалов и комплектующих цифрового трансформатора напряжения позволили определить диапазоны значений ключевых характеристик материалов и комплектующих и выбрать наиболее перспективные для применения в цифровом трансформаторе напряжения.

Разработанный, созданный и исследованный на первом этапе ПНИ макет первичного преобразователя цифрового трансформатора напряжения позволил определить расположение резисторов, при котором достигается минимальный их нагрев, характеристики материалов, используемых в макете, и условия теплообмена с внешней средой (коэффициенты теплоотдачи от изолятора), что в дальнейшем было использовано при разработке математических и имитационных моделей первичного преобразователя на основе резистивного, емкостного и активно-емкостного делителей.

Индустриальный партнер в ходе первого этапа выполнения ПНИ разработал концепцию цифровой подстанции в части цифровых

трансформаторов тока и напряжения и технические требования к первичным преобразователям и блокам цифровой обработки и передачи сигналов. В концепции определено взаимодействие цифровых трансформаторов тока и напряжения с другими устройствами цифровой подстанции, приведены требования к их структуре. Технические требования формировались исходя из физических особенностей разрабатываемых цифровых трансформаторов напряжения и содержат требования к точности измерения, климатическому исполнению, электромагнитной совместимости, механической прочности и др.

Разработанные структурные, функциональные и принципиальные схемы первичных преобразователей напряжения являются основой документации на впервые разработанный цифровой трансформатор напряжения 110 кВ на основе резистивного делителя. Разработанные схемы были использованы для разработки математических моделей первичных преобразователей напряжения, выполнения исследований, создания электронных плат и частей первичного преобразователя напряжения.

Разработаны способы защиты микроэлектроники цифрового трансформатора напряжения для различных вариантов его исполнения. Проведённые исследования показали, что наилучшим способом защиты является расположение микроэлектроники внутри цилиндрического провода с током, что позволяет исключить основную компоненту электромагнитного поля, созданную собственным током. Кроме того, цилиндрический провод является экраном и для полей, наведённых токами соседних проводов.

Для вновь разработанных первичных преобразователей напряжения составлены методики инженерных расчетов, позволившие получить исходные данные, первое приближение параметров элементов первичных преобразователей напряжения, которые были использованы для разработки математических и экспериментальных моделей.

Впервые разработаны методики моделирования и математические модели трансформаторов напряжения с разомкнутыми магнитопроводами,

позволяющие определять метрологические характеристики, антирезонансные свойства и параметры данного вида трансформаторов. Рассчитать трансформатор напряжения с разомкнутыми магнитопроводами невозможно на основе стандартных инженерных методик, предназначенных для расчета трансформаторов с замкнутыми магнитными системами, поскольку магнитное поле таких трансформаторов имеет разветвленное поле рассеяния, а основной магнитный поток только часть своего пути проходит по сердечнику. Использование существующих инженерных методик расчета трансформаторов напряжения, основанных на предположении того, что весь магнитный поток проходит по ферромагнитному сердечнику и замыкается на нем, приводит к существенным погрешностям. Для расчета трансформаторов напряжения с разомкнутым магнитопроводом была разработана методика расчета на основе численного моделирования электромагнитного поля совместно с расчетом электрической цепи трансформатора.

Результаты исследований впервые разработанных конструкций трансформаторов напряжения с разомкнутыми магнитопроводами показали, что использование разомкнутой магнитной системы позволяет получить трансформатор с необходимым классом точности при невысокой номинальной мощности. Низкая номинальная мощность накладывает ограничение на традиционное использование таких ТН. Однако, современные микропроцессорные терминалы релейной защиты, такие как БРЕСЛЕР-0107 (ООО НПП «БРЕСЛЕР»), ТЭМП 2501 (ОАО «ВНИИР»), Сириус-2-Л (ЗАО «РАДИУС Автоматика»), БЭ2704 (ООО НПП «ЭКРА»), MiCOM (Alstom и Schneider Electric) потребляют по цепям напряжения 0,1-0,5 В·А на фазу, а трансформатор напряжения с разомкнутыми магнитопроводами работает в классе точности 0,2 при номинальной мощности 10 В·А, что делает возможным их совместное применение.

Аналогичную потребляемую мощность по цепям напряжения имеют и объединяющие устройства (Merging Unit), например, SIPROTEC MU 7SC805 (SIEMENS), depRTU (ООО «Компания ДЭП»), ENMU (ООО «Инженерный

центр «Энергосервис»), CSN SAMU (SCHNIEWINDT), SAM600 (ABB), что также позволяет использовать трансформатора напряжения с разомкнутыми магнитопроводами на цифровой подстанции.

Кроме того, если трансформатор напряжения с разомкнутыми магнитопроводами является составной частью цифрового трансформатора и имеет в качестве нагрузки только свою, практически не потребляющую энергии нагрузку – электронный преобразователь (к тому же с заранее согласованным входным сопротивлением), то проблема и само понятие номинальной мощности отпадает.

Таким образом, трансформатор напряжения с разомкнутыми магнитопроводами может применяться как на традиционных подстанциях, так и на цифровых с объединяющими устройствами и как часть цифрового трансформатора.

Выполненные исследования разработанных способов компенсации амплитудной и фазовой погрешностей однофазных трансформаторов напряжения с разомкнутыми магнитопроводами на разработанных в рамках данной ПНИ математических моделях показали их эффективность.

Трансформаторы напряжения с разомкнутыми магнитопроводами вступают в опасный феррорезонанс с гораздо меньшим диапазоном емкостей выключателей и шин, амплитуда тока при феррорезонансе у таких трансформаторов ниже, чем у трансформаторов с замкнутыми магнитопроводами. Феррорезонанс в трансформаторах с разомкнутыми магнитопроводами в основном происходит не на основной частоте и является менее опасным. Одна из разработанных конструкций не вступает в опасный феррорезонанс.

Вновь разработанные методики расчета погрешностей и определения антирезонансных свойств трансформаторов напряжения с разомкнутыми магнитопроводами могут быть использованы для оптимизации конструкции как трансформаторов с разомкнутыми магнитопроводами, так и традиционных трансформаторов напряжения. Разработанные методики

исследования антирезонансных свойств трансформаторов напряжения получили практическое применение в рамках выполнения работ по договору оказания услуг по исследованию явлений феррорезонанса на ОРУ-220 кВ для нужд филиала «Костромская ГРЭС» АО «Интер РАО-Электрогенерация» № 8-КОС/005-0066-15 от 03 марта 2015 года.

Исследования, выполненные на разработанной математической модели открытого распределительного устройства 220 кВ Костромской ГРЭС, показали, что при расчетах феррорезонансных процессов важно учитывать трехфазное исполнение ОРУ, междуфазные емкости одной системы шин и разных систем шин, а также возможные перенапряжения на системах шин поскольку данные особенности значительно расширяют область опасного феррорезонанса. Подход с учетом трехфазного исполнения и междуфазных емкостей применен впервые. При учете междуфазных емкостей и перенапряжении на системах шин феррорезонанс может наблюдаться даже при невысоких значениях емкостей выключателей, находящихся в диапазоне 25-50 пФ. Исключить феррорезонанс в этом случае возможно за счет увеличения емкости на землю путем установки конденсаторов на системе шин или использования трансформатора напряжения с разомкнутыми магнитопроводами. Второй вариант является предпочтительным, поскольку исключает возможность возникновения феррорезонанса при любой величине емкостей выключателей.

Разработанные новые математические модели первичных преобразователей напряжения на основе резистивного, емкостного и активно-емкостного делителя позволяют выполнять исследования их погрешностей измерения и оптимизацию конструкции. Разработанные математические модели также могут быть использованы для исследования переходных процессов в электроэнергетической системе с данным типом первичных преобразователей в нормальных и аварийных режимах её работы.

Впервые разработанные методики расчета токов электрического смещения и токов утечки в изоляции резистивного делителя позволяют

определять их влияние на точность измерения напряжения и могут быть использованы для оптимизации конструкции резистивных делителей. Данные методики подходят также для емкостного и активно-емкостного делителя напряжения. Разработанная методика параллельных вычислений через наведенные токи при большом количестве резисторов является менее трудоемкой и более быстрой. Методика последовательных вычислений с предварительным расчетом частичных емкостей является более универсальной и позволяет исследовать динамические процессы.

Выполненные исследования впервые разработанных резистивных делителей напряжения позволили определить их оптимальные параметры и оптимальное расположение по тепловому и электромагнитному полям, разработать мероприятия, позволяющие уменьшить токи электрического смещения и токи утечки в изоляции, и, соответственно, увеличить точность измерения напряжения. Выполненные исследования активно-емкостного делителя напряжения показали, что погрешности измерения напряжения данного типа первичного преобразователя меньше, чем у резистивного делителя напряжения.

Разработанные алгоритмы цифровой обработки сигналов и передачи метрологической информации в соответствие со стандартом IEC 61850-9.2 с частотой 80 и 256 выборок на период стали основой программного обеспечения электронных блоков цифрового трансформатора напряжения.

Выполненные исследования показали, что каждый из подробно проработанных первичных преобразователей (трансформатор напряжения с разомкнутым магнитопроводом и резистивный делитель напряжения) имеют свои преимущества и области применения. Однако, для дальнейших исследований были выбраны резистивные делители напряжения в виду более значимых преимуществ.

Индустриальным партнером проекта (ОАО «Энергострой-М.Н.») разработано и изготовлено два макетных образца первичных преобразователей напряжения на основе резистивного и активно-емкостного

делителей напряжения. Исследовательские испытания макетных образцов прошли успешно. Цели исследовательских испытаний достигнуты. Выполненные исследования подтвердили результаты, полученные на математических моделях, и позволили сделать выводы об основных конструктивных решениях экспериментального образца цифрового трансформатора напряжения. Использование внешних и внутренних колец в активно-емкостном делителе для выравнивания распределения потенциалов позволяют значительно сократить погрешность измерения, что в свою очередь делает возможным увеличить сопротивление резисторов для уменьшения их нагрева. При выбранном сопротивлении элементов резистивного делителя нагрев не приводит к выходу из класса точности первичного преобразователя напряжения.

Разработана эскизно-конструкторская документация на экспериментальный образец цифрового трансформатора напряжения. Разработанный первичный преобразователь напряжения на основе резистивного делителя напряжения 110 кВ является уникальным, позволяет измерять как переменное, так и постоянное напряжение, не вступает в опасные феррорезонансные явления, имеет твердотельную взрыво- и пожаробезопасную изоляцию, низкие массогабаритные показатели по сравнению с традиционными электромагнитными трансформаторами напряжения (разработанный первичный преобразователь напряжения весит 50 кг, а масса трансформатора НКФ-110 составляет 840 кг). Разработанное микропроцессорное устройство ЦТН также имеет уникальную конструкцию, позволяет обрабатывать информацию с задержками, не приводящими к снижению класса точности, выполнять синхронизацию по сигналу 1PPS, протоколам РТР (версия 2, энергетический профиль), SNTP и резервирование в соответствии с протоколами PRP и HSR.

Разработанная Программа и методики исследовательских испытаний экспериментального образца цифрового трансформатора напряжения включает испытания как микропроцессорного блока ЦТН, так и его

первичных преобразователей. Запланированные испытания позволяют проверить соответствие микропроцессорного блока ЦТН стандарту IEC 61850-9-2LE, первичных преобразователей ГОСТ 1983-2001 и ГОСТ Р МЭК 60044-7-2010.

Индустриальным партнером проекта (АО «Энергострой-М.Н.») изготовлен экспериментальный образец трехфазного комплекта первичных преобразователей цифрового трансформатора напряжения 110 кВ и выполнены исследовательские испытания экспериментального образца цифрового трансформатора напряжения (рисунок 1). Выполненные исследовательские испытания изготовленного экспериментального образца цифрового трансформатора напряжения показали, что он сохраняет класс точности 0,2 при изменении его температуры. Разработанный первичный преобразователь напряжения может выполнять измерение напряжения в широком частотном диапазоне, коэффициент ослабления сигнала составляет -1,1dB на частоте 3000 Гц. Амплитудно-частотная и фазочастотные характеристики разработанного экспериментального образца цифрового трансформатора напряжения превосходят данные характеристики традиционного электромагнитного и емкостного трансформаторов напряжения (рисунок 2). Возможность измерения постоянного напряжения также позволяет использовать разработанный трансформатор в высоковольтных линиях постоянного тока. Токоведущие элементы соседних фаз не оказывают влияния на результаты измерения экспериментальным образцом, приводящего к снижению класса точности 0,2.

Исследования первичных преобразователей цифрового трансформатора напряжения также показали высокую повторяемость образцов (погрешность напряжения и угловая погрешность разных экспериментальных образцов совпали с незначительным отличием).

На пятом этапе ПНИ были дополнительно проведены исследования изменения погрешности измерения при наличии загрязнения изоляции экспериментального образца. Загрязнения моделировались путем установки

на ребра изолятора алюминиевой фольги и путем нанесения на изолятор соленой воды методом распыления. Выполненные исследования показали, что экспериментальный образец не выходит из заданного класса точности при наличии загрязнений.

Следует отметить, что экспериментальный образец имеет низкие массогабаритные показатели, что позволяет повесить его на портал или опору и тем самым исключить земельный участок для монтажа.

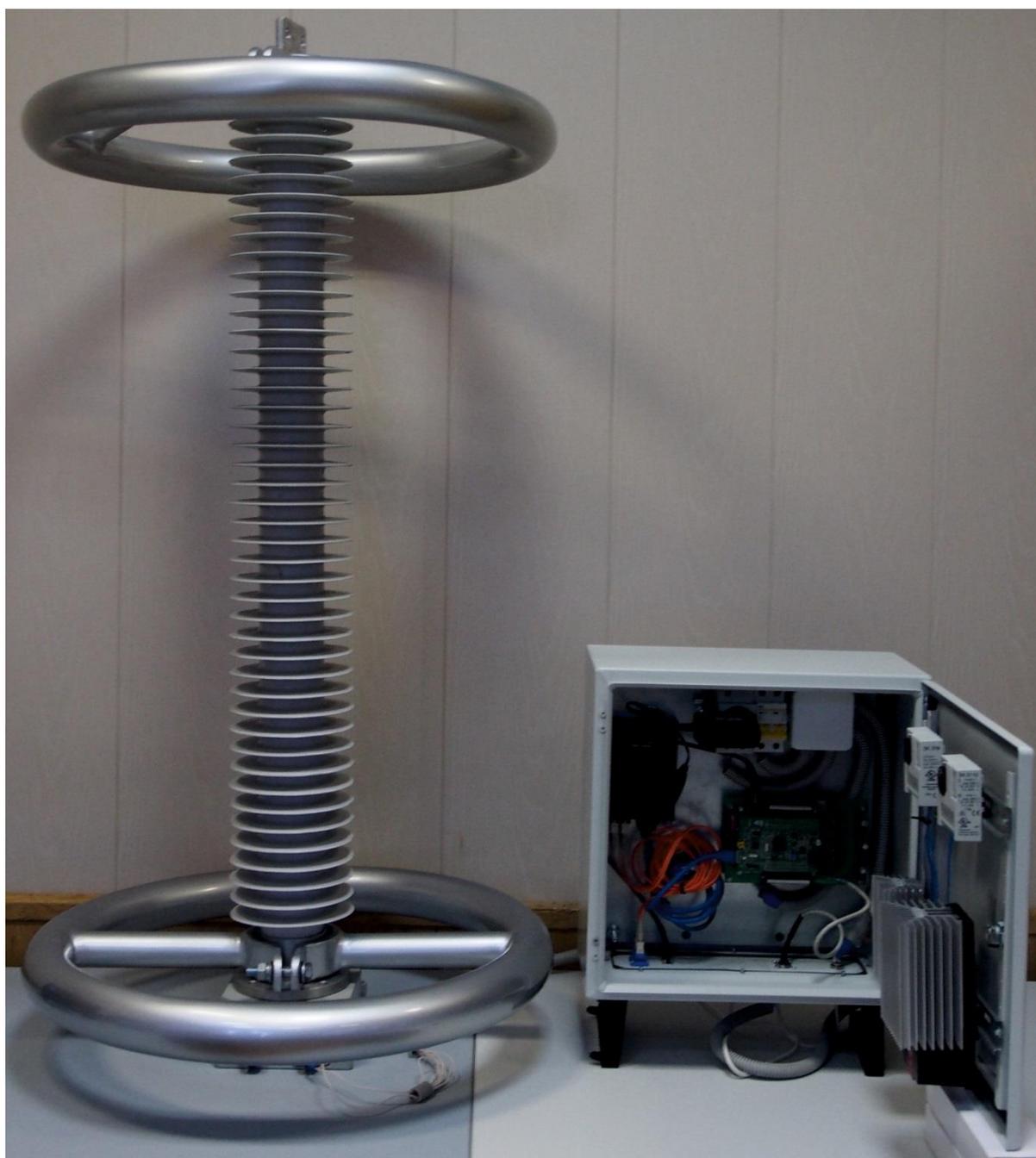
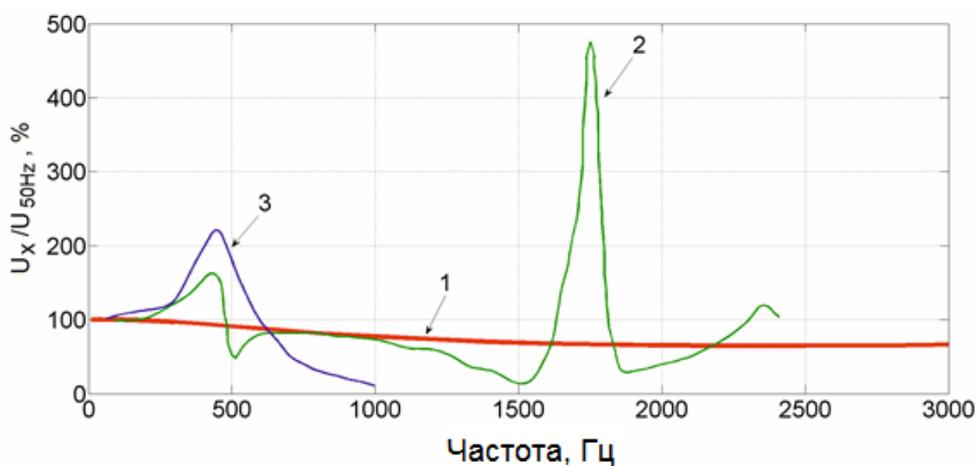
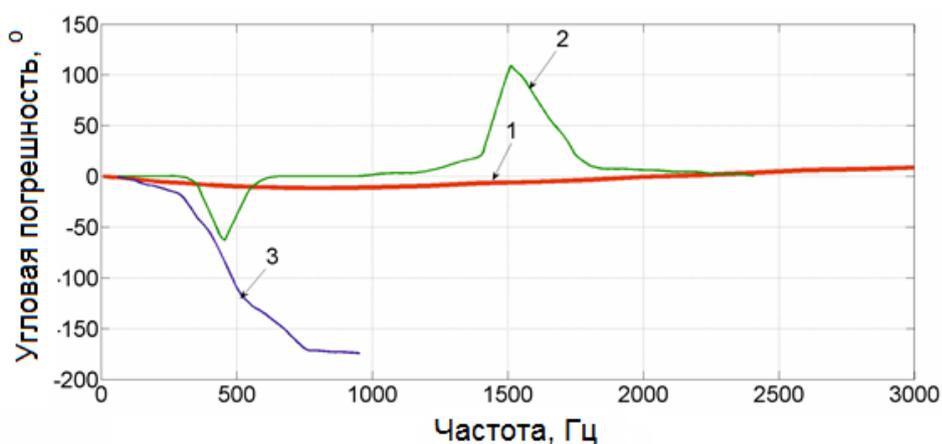


Рисунок 1 – Экспериментальный образец ЦТН с одним первичным преобразователем



а)



б)

1 – экспериментальный образец; 2 – индуктивный трансформатор напряжения;
3 – емкостной трансформатор напряжения

Рисунок 2 – Амплитудно-частотная (а) и фазочастотная (б) характеристики

Необходимо также отметить, что в зависимости от конструкции резистивного делителя его нижнее плечо имеет сопротивление от 30 до 200 кОм, при этом входное сопротивление микропроцессорных терминалов релейной защиты (БРЭСЛЕР-0107 (ООО НПП «БРЭСЛЕР»)), ТЭМП 2501

(ОАО «ВНИИР»), Сириус-2-Л (ЗАО «РАДИУС Автоматика»), БЭ2704 (ООО НПП «ЭКРА»), MiCOM (Alstom и Schneider Electric) и др.) и объединяющих устройств (depRTU (ООО «Компания ДЭП»), ENMU (ООО «Инженерный центр «Энергосервис»), CSN SAMU (SCHNIEWINDT), SAM600 (ABB)) исходя из потребляемой по цепям напряжения мощности составляет примерно 100 кОм. Подключение резистивного делителя к микропроцессорным терминалам релейной защиты или объединяющим устройствам приведет к значительным погрешностям измерения напряжения. Однако, есть и исключения, например, объединяющее устройство SIPROTEC MU 7SC805 (SIEMENS) имеет входное сопротивление 2 МОм.

Таким образом, резистивный делитель напряжения наилучшим образом подходит для применения на цифровой подстанции как часть цифрового трансформатора, когда нагрузкой резистивного делителя является аналого-цифровой преобразователь с заранее согласованным входным сопротивлением.

Во время выполнения ПНИ:

1. Написано 9 статей по теме проекта, индексируемых в базах данных Scopus:

– Lebedev V.D., Makarov A.V., Yablokov A.A. Modeling of ferroresonance phenomena in software products Simulink // Proceedings of International conference on computer technologies in physical and engineering applications (ICCTPEA). – Saint-Petersburg, Russia, June 30 – July 04, 2014. – pp. 97-98.

– Filatova G.A., Yablokov A.A., Lebedev V.D., Shuin V.A. Modeling of measuring current and voltage transformers in dynamic modes // Proceedings of International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). – Tomsk, Russia, 16-18 Oct. 2014. – pp. 1-7.

– Lebedev V.D., Yablokov A.A. Research of the metrological characteristics and voltage transformer with open core antiresonance properties // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – №698. – pp. 160-167.

– Lebedev V.D., Yablokov A.A. Analysing the impact of electrical displacement and leakage currents in transformer insulation on voltage measurement accuracy // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – № 792. – pp. 220-229.

– Lebedev V., Zhukov V., Yablokov A. Analysing the thermal state of voltage transformer based on resistive voltage divider // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE). – IOP Publishing, 2015. – №93. – p. 1-6.

– Vylgina J.V., Lebedev V.D., Shishova A.S., Yablokov A.A. Problems of Commercializing Innovations in the Electric Power Industry, for Example, Digital Voltage and Current Measuring Transformers // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Volume 11, Number 22. – pp. 10967-10974.

– Vylgina J.V., Lebedev V.D., Shishova A.S. Problems of commercializing innovative digital voltage and current measuring transformer // Engineering Studies. – 2016. – Volume 8. – pp. 356 – 372.

– Lebedev V., Yablokov A. Examining ferroresonance phenomena in circuits with closed and open core voltage transformers [принята к публикации, находится в печати].

– Lebedev V.D., Yablokov A.A. Studies in electromagnetic compatibility of optical and digital current and voltage transformers [принята к публикации, находится в печати].

2. Написано 14 статей и докладов по теме проекта:

– Лебедев В.Д., Яблоков А.А. Исследование метрологических характеристик и антирезонансных свойств трансформатора напряжения с разомкнутыми магнитопроводами // Сборник научных трудов I международной научной конференции молодых ученых «Электротехника. Энергетика. Машиностроение». – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет; Межвузовский центр содействия

научной и инновационной деятельности студентов и молодых ученых Новосибирской области, 2014. – С. 161-165 (индексируется РИНЦ).

– Слышалов В.К., Лебедев В.Д., Меркулов А.Ю., Яблоков А.А. Моделирование делителя напряжения цифрового измерительного трансформатора // Материалы Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XVIII Бенардосовские чтения). Т. III «Электротехника». – Иваново: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 27-29 мая 2015. – С. 475 – 479 (индексируется РИНЦ).

– Лебедев В.Д., Лебедев Д.А., Наумов А.В., Яблоков А.А. Исследование электромагнитной совместимости оптических и цифровых трансформаторов тока и напряжения // Материалы Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XVIII Бенардосовские чтения). Т. III «Электротехника». – Иваново: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 27-29 мая 2015. – С. 471 – 475 (индексируется РИНЦ).

– Лебедев В.Д., Яблоков А.А. Анализ влияния токов электрического смещения и токов утечки в изоляции трансформатора на точность измерения напряжения // Сборник научных трудов VII международной научной конференции молодых ученых «Электротехника. Электротехнология. Энергетика». – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет; Межвузовский центр содействия научной и инновационной деятельности студентов и молодых ученых Новосибирской области, 2015. – С. 261-264 (индексируется РИНЦ).

– Лебедев В.Д., Жуков В.П., Яблоков А.А. Анализ теплового состояния трансформатора на основе резистивного делителя напряжений // Сборник научных трудов VII международной научной конференции молодых ученых «Электротехника. Электротехнология. Энергетика». – Новосибирск:

Новосибирский государственный технический университет; Межвузовский центр содействия научной и инновационной деятельности студентов и молодых ученых Новосибирской области, 2015. – С. 285-288 (индексируется РИНЦ).

– Вылгина Ю.В., Шишова А.С., Яблоков А.А. Особенности коммерциализации инновационных разработок в электроэнергетике // Актуальные вопросы научных исследований: сборник научных трудов по материалам IV Международной научно-практической конференции, г. Иваново, 15 сентября 2016 г. – Иваново: ИП Цветков А.А., 2016. – С. 51-59 (индексируется РИНЦ).

– Лебедев В.Д., Макаров А.В., Яблоков А.А. Исследование феррорезонансных явлений в программных продуктах EMTP-RV, Simulink и Comsol Multiphysics // Материалы Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Надежность либерализованных систем энергетики». Отв. Ред. Н.И. Воропай, А.Н. Назарычев. – Вып. 65. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. – С. 602-610.

– Лебедев В.Д., Нечаев Е.В., Яблоков А.А. Исследование цифрового трансформатора напряжения // Десятая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2015»: Материалы конференции. В 7 т. Т. 3. – Иваново: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2015. – С. 121-122.

– Lebedev V., Makarov A., Filatova G., Yablokov A.A. Modeling of magnetization reversal process in magnetic circuit of measuring transformers // Proceedings of Power and Energy Student Summit 2015. – Dortmund, Germany, 2015. – S05.3.

– Lebedev V.D., Makarov A.V., Yablokov A.A. Mathematical and physical models development for study the high-voltage resistive dividers of digital voltage transformers // Сессия СИГРЭ 2016: сборник статей. – Номер статьи: А3-305.

– Лебедева Н.В., Лебедев В.Д., Яблоков А.А. Исследование частотных свойств первичных высоковольтных преобразователей напряжения, предназначенных для современных микропроцессорных устройств релейной защиты и измерений // ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА // Одиннадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2016»: материалы конференции. В 7 т. Т. 3. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2016. – С. 166-167.

– Меркулов А.Ю., Лебедев В.Д., Яблоков А.А. Применение микроконтроллера на плате DK55 с микросхемой SC24-IES для организации передачи цифровой информации по протоколу МЭК 61850 // ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА // Одиннадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2016»: материалы конференции. В 7 т. Т. 3. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2016. – С. 169-171.

– Лебедева Н.В., Яблоков А.А. Исследование частотных свойств первичных высоковольтных преобразователей напряжения, предназначенных для современных микропроцессорных устройств релейной защиты и измерений // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы VII Международной научно-технической конференции, 19 – 23 сентября 2016, Казань. – В 3 т. Т 1. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – С. 445-448.

– Лебедев В.Д., Яблоков А.А. Разработка высоковольтных измерительных резистивных делителей цифровых трансформаторов напряжения // Интеллектуальные энергосистемы: труды IV Международного молодёжного форума. В 3т. Томск 10 - 14 октября 2016г. Т.3. – Материалы IV Международного форума «Интеллектуальные энергосистемы». – С. 23-26.

3. Написана 1 монография по теме проекта:

– Лебедев В.Д., Яблоков А.А., Федотов С.П. Разработка и исследование измерительного трансформатора напряжения с разомкнутыми магнитопроводами // Монография: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2015. – 148 с.

4. Написана 1 диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук:

– Яблоков А.А. Разработка и исследование первичного преобразователя напряжения измерительного трансформатора для цифровой подстанции 110-220 кВ // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Иваново, 2016. – 237 с.

5. Принято участие в 17 мероприятиях по популяризации результатов проекта:

– International conference on computer technologies in physical and engineering applications (ICCTPEA). Saint-Petersburg, Russia, June 30 - July 04, 2014.

– Международный научный семинар им. Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Надежность либерализованных систем энергетики». Санкт-Петербург, Россия, 30 июня – 4 июля 2014.

– International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). Tomsk, Russia, 16-18 Oct. 2014.

– I международная научная конференция молодых ученых «Электротехника. Энергетика. Машиностроение». Новосибирск, Россия, 2014.

– Десятая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2015». Иваново, Россия, 2015.

- Power and Energy Student Summit 2015. Dortmund, Germany, 9-12 Jan. 2015.
- Международная научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XVIII Бенардосовские чтения). Иваново, Россия, 27-29 мая 2015.
- VII международная научная конференция молодых ученых «Электротехника. Электротехнология. Энергетика». Новосибирск, Россия, 2015.
- 5-ая международная научно-техническая конференция «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем». Сочи, Россия, 2015.
- CIGRE Session. Paris, France, Aug. 2016.
- Одиннадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2016». Иваново, Россия, 2016.
- VII Международная научно-техническая конференция «Электроэнергетика глазами молодежи». Казань, Россия, 19 – 23 сентября 2016.
- IV Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы научных исследований». Иваново, Россия, 15 сентября 2016.
- IV Международный форум «Интеллектуальные энергосистемы». Томск, Россия, 10 - 14 октября 2016.
- 43-ий Международный салон инноваций. Женева, Швейцария, 15-19 апреля 2015.
- 72-ая Международная ярмарка в Пловдиве. Пловдив, Болгария, 28 сентября 2016.
- 65-ый Всемирный салон «Брюссель Иннова/Эврика 2016». Брюссель, Бельгия, ноябрь 2016.

6. Получено 8 наград в Международных и всероссийских конкурсах научно-исследовательских работ:

– Золотая медаль и диплом на Международной ярмарке 2016. Пловдив, Болгария, 28 сентября 2016 года.

– Золотая медаль и диплом на 65-ем Всемирном салоне «Брюссель Иннова/Эврика 2016». Брюссель (Бельгия), ноябрь 2016 года.

– Диплом и золотая медаль в 43 Международном салоне инноваций. Женева, 15-19 апреля 2015 года.

– Диплом за I место в конкурсе докладов по тематике СИГРЭ. Доклад: «Разработка и исследование первичного преобразователя цифрового трансформатора напряжения». Организаторы: ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» и Российский национальный комитет СИГРЭ. Иваново, 23 апреля 2015 года.

– Диплом призера во Всероссийском конкурсе научно-технического творчества молодежи «НТТМ-2015». Номинация: «Лучший научно-исследовательский проект». Организатор: Министерство образования и науки Российской Федерации. Москва, 15-18 апреля 2015 года.

– Диплом за активную научно-исследовательскую деятельность в рамках взаимодействия с подкомитетом А3 «Высоковольтное оборудование» и участие в мероприятиях Молодежной секции РНК СИГРЭ. Париж, Дворец Конгрессов, стенд Молодежных секций СИГРЭ, 22 августа 2016 года.

– Грамота за активное участие в деятельности Подкомитета А3 «Высоковольтное оборудование» РНК СИГРЭ. Париж, Дворец Конгрессов, стенд ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», 25 августа 2016 года.

– Диплом финалиста конкурса «Открытые инновации». Москва, 20 сентября 2016 года.

7. Получено 7 патентов на полезные модели и 5 свидетельств на программы для ЭВМ:

- Патент на полезную модель № 166006 «Высоковольтный измерительный преобразователь напряжения».
- Патент на полезную модель № 166007 «Высоковольтный измерительный преобразователь напряжения».
- Патент на полезную модель № 166137 «Высоковольтный измерительный преобразователь напряжения».
- Патент на полезную модель №158733 «Каскадный антирезонансный трансформатор напряжения».
- Патент на полезную модель № 150093 «Высоковольтное цифровое устройство для измерения тока».
- Патент на полезную модель № 150386 «Высоковольтное цифровое устройство для измерения тока».
- Патент на полезную модель № 152974 «Высоковольтное цифровое устройство для измерения тока».
- Свидетельство на программу для ЭВМ № 2015616370 «Расчет теплового состояния трансформаторов на основе резистивного делителя напряжения».
- Свидетельство на программу для ЭВМ № 2016617684 «Программа расчета собственных и частичных емкостей резистивного делителя напряжения».
- Свидетельство на программу для ЭВМ № 2016617704 «Программа расчета резистивного делителя напряжения».
- Свидетельство на программу для ЭВМ № 2016617705 «Программа расчета емкостных токов резистивного делителя напряжения».
- Свидетельство на программу для ЭВМ № 2016617915 «Программа расчета переходных процессов в катушках индуктивности».

8. Заключено 8 лицензионных договоров на полученные патенты общей суммой 500 000 рублей.

Состав выполненных работ и отчетной документации удовлетворяет условиям Соглашения о предоставлении субсидии, в том числе техническому заданию и плану-графику исполнения обязательств.

Достигнутые значения показателей результативности соответствуют требованиям Соглашения о предоставлении субсидии.