

АВТОНОМНОЕ КОМПЛЕКСНОЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

С ведением технического регламента (ТР) «Об электромагнитной совместимости» в электроэнергетике возникнет проблема контроля показателей качества (спектрального состава) электроэнергии (ПКЭ), как товарной продукции. Причем, хотя в ТР предполагается сертификация параметров электроэнергии (что автоматически указывает на периодический характер подтверждения соответствия ее параметров требованиям ГОСТ 13109-97), однако «сертифицировать энергию электрического поля нельзя». Это надо понимать в том смысле, что нельзя пролонгировать ПКЭ, полученные в период проведения разовых измерений на последующий интервал времени. Действительно, параметры электрического тока в процессе производства и потребления электрической энергии зависят от многих факторов и, соответственно, уникальны для каждого момента времени. Поэтому ряд ведущих специалистов в области электроэнергетики справедливо полагают, что контроль показателей качества электроэнергии невозможен без реализации процесса их мониторинга в масштабе реального времени.

Решение задачи мониторинга возможно только при создании автоматических систем контроля качества и учета количества электроэнергии (АСКУЭ). Тем не менее, в сетях высокого напряжения в соответствии с нормативной документацией контроль параметров электроэнергии осуществляется на основе периодических (в течение 0,5 часа) измерений и последующей статистической обработке результатов. Это не согласуется с требованиями рынка, так как не позволяет осуществлять оперативный контроль за реальной ситуацией в таких сетях. Внедрение АСКУЭ в сети с напряжением более 10 кВ сдерживается рядом методических и технических причин.

С технической точки зрения проблема связана с недостатками существующих систем первичных датчиков – измерительных понижающих трансформаторов тока и напряжения (ТТ и ТН). Обработка данных в этих системах производится на стороне низкого напряжения с применением цифровых методов, основанных на стандартном дискретном преобразовании Фурье. Передача данных на диспетчерские пункты осуществляется, как правило, с применением волоконно-оптических линий связи.

С методической стороны проблема измерений показателей качества и количества электроэнергии (ПКЭ) связана с реализацией цифровой обработки и передачи данных в масштабе реального времени.

НЕДОСТАТКИ СТАНДАРТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В СЕТЯХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

- Непредсказуемый характер изменения погрешностей первичных датчиков в межповерочный период, что в основном относится к датчикам тока, параметры которых подвержены изменениям в периоды резких изменений силы тока в высоковольтном проводе (и в меньшей мере к датчикам напряжения)
- Технические трудности (и, соответственно высокая стоимость) проведения операции поверки измерительных систем, которые в основном связаны с проблемами поверки первичных датчиков
- Недостоверность методов цифровой обработки данных при стандартном дискретном преобразовании Фурье в случае резко несинусоидальных зависимостей измеряемых сигналов тока и напряжения и изменении промышленной частоты (основной гармоники) даже в пределах, обусловленных допуском ГОСТ 13109-97

– **Пожароопасность** масляных систем изоляции и охлаждения.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

На кафедре электрофизики МЭИ (ТУ) с 1998 г. проводятся комплексные исследования данных проблем, в результате которых **разработан принцип построения высоковольтного комплексного измерительного устройства (КИУ) на напряжение до 750 кВ, свободный от вышеназванных недостатков**, и создан действующий макет устройства на линейное напряжение 220 кВ. Принцип построения и конструкция устройства защищены патентом РФ (№ 2224260, БИ № 5 от 20.02.04 г.).

Особенность построения КИУ – осуществление измерений и цифровая обработка сигналов на стороне высокого потенциала фазных проводов линии передачи, что позволяет применить в качестве первичных датчиков тока и напряжения низковольтное оборудование. Применение низковольтных ТТ и датчиков напряжения на порядок повышает надежность системы, точность измерений и снижает стоимость устройства, в том числе и проведения операции поверки измерительной системы. Внешний вид макета КИУ показан на рис. 1, а, а на рис. 1, б схематично изображено КИУ, включенное в рассечку провода линии электропередачи высокого напряжения у портала распределительной подстанции.

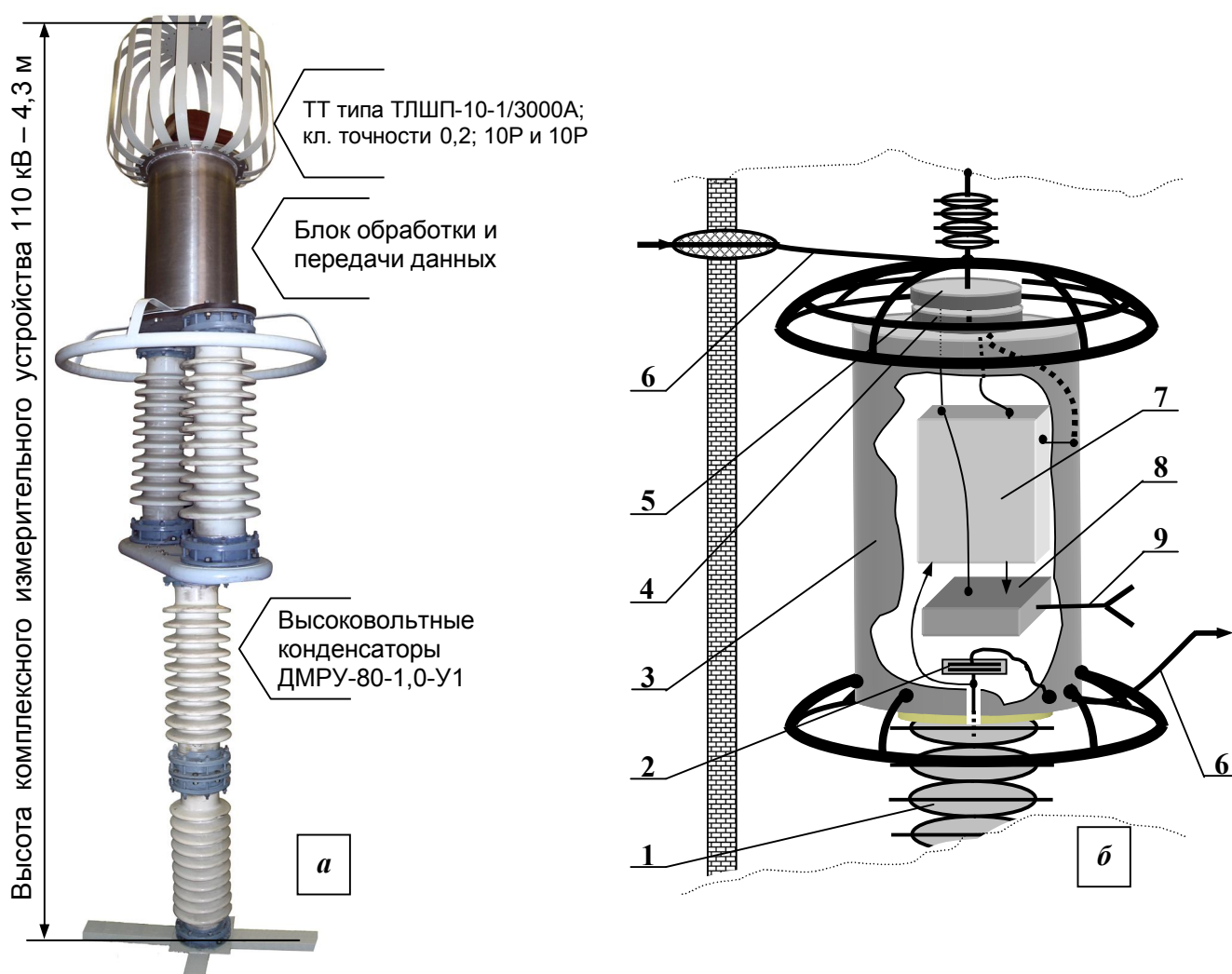


Рис.1. Действующий макет КИУ на линейное напряжение 220 кВ с передачей цифровых данных о количестве и качестве электроэнергии по радиоканалу (а) и его схематическая конструкция (б). Назначения элементов конструкции указаны в тексте

Конструктивно КИУ включает в себя: 1 – конденсатор (применен стандартный высоковольтный конденсатор), служащий опорой измерительного блока КИУ и являющийся нижним плечом емкостного делителя напряжения; 2 – конденсатор низковольтного плеча делителя, формирующий низковольтное емкостное плечо делителя напряжения; 3 – корпус измерительного блока (клетка Фарадея) решает задачу экранирования и обеспечивает защиту узлов обработки данных от внешних погодных факторов; 4 – измерительный ТТ – датчик тока (стандартный ТТ на напряжение 10 кВ, применяемый по прямому назначению), устанавливаемый в защитный экран для уменьшения влияния электрического поля и магнитных полей токов соседних фаз; 5 – ТТ блока питания – обеспечивает отбор мощности из сети высокого напряжения для блока питания электронных узлов КИУ (ТТ типа ТЛШП-10-1 на номинальный первичный ток равный 3000 А, с двух обмоток такого ТТ снимается мощность до 100 В·А); 6 – фазный провод, в разрыве которого устанавливается КИУ; 7 – измерительный модуль, включающий в себя блоки аналоговой и цифровой обработки данных; 8 – приемопередатчик, обеспечивающий, при гальванической развязке между КИУ и центром сбора данных (ЦСД), двунаправленную радиолинию, необходимую для передачи параметров качества и количества электроэнергии, а также сигналов управления и контроля за процессом измерения; 9 – антенна приемопередатчика.

АСКУЭ с применением КИУ имеет традиционную иерархическую структуру (рис. 2), обеспечивающую оперативные и достоверные измерения, передачу, хранение и визуализацию данных.

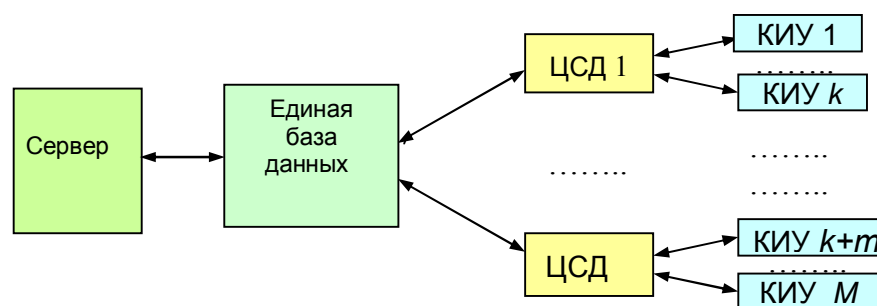


Рис. 2. – Структурная схема АСКУЭ на базе КИУ в высоковольтных сетях

Основной проблемой при создании КИУ оказалась разработка системы цифровой обработки временных зависимостей тока и напряжения, снимаемых с первичных датчиков в точке контроля, так как для контроля ПКЭ необходимо вычислять спектры временных зависимостей тока и напряжения в масштабе реального времени. При этом сложность задачи связана со случайным спектральным составом сигналов при непостоянстве частоты первой гармоники (в соответствии с ГОСТ 13109-97 частота первой гармоники может изменяться в пределах $50 \pm 0,4$ Гц).

Решение задачи измерения ПКЭ потребовало разработки специального алгоритма цифровой обработки сигналов. В результате исследований удалось создать алгоритм (защищен Свидетельством № 2003611816 от 30.06.03 г. о Государственной регистрации программы для ЭВМ «Модуль обработки сигналов с датчиков тока и напряжения в масштабе реального времени», который позволяет определять ПКЭ в соответствии с требованиями стандарта и удовлетворить по точности учета электроэнергии требованиям рынка, т.е. превзойти по параметрам эксплуатируемые в высоковольтных сетях аналогичные системы. Так, погрешность определения частоты f_0 основной гармоники, которая является не только важным показателем качества электроэнергии, но и основой измерения ее спектрального состава, не превышает по модулю величину 0,01 Гц. При этом погрешность вычисления мгновенной мощности при $|\Delta f_0| \leq 0,01$ Гц с учетом погрешностей первичных датчиков, погрешности аналоговой обработки сигнала и погрешности цифровой обработки не превышает 1%, а погреш-

ность вычисления спектрального состава сорока гармонических составляющих характеризуют кривые, представленные на рис. 3.

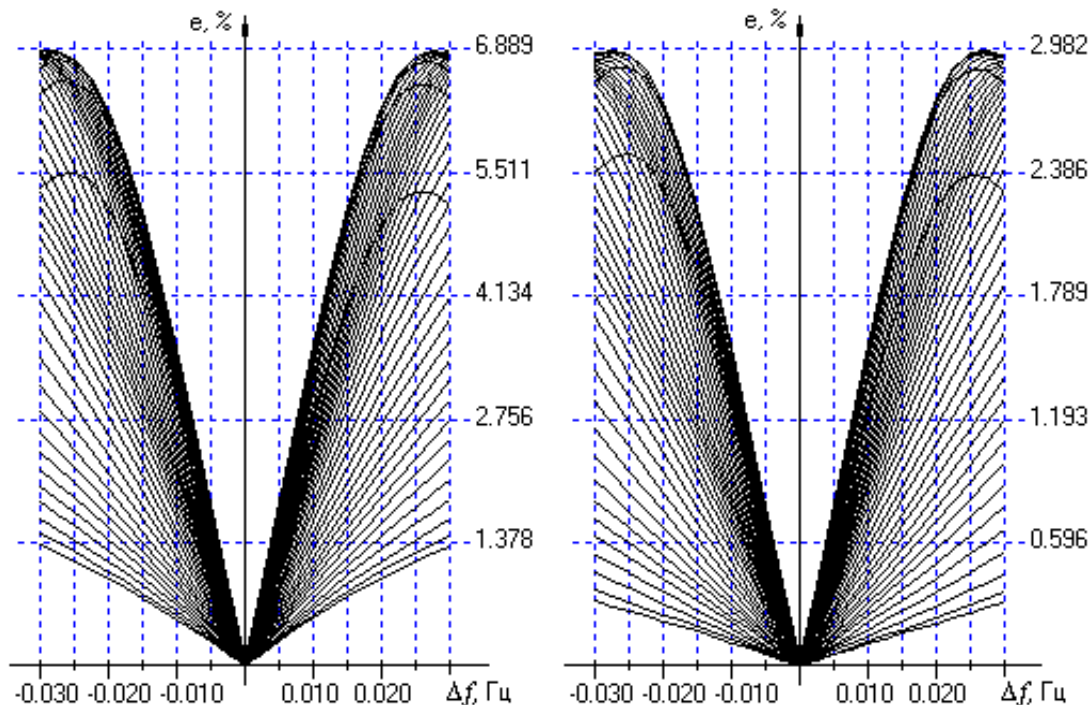


Рис. 3. Относительные погрешности (по методу наихудшего случая – слева и вероятностный метод $P_\delta=0,997$ – справа) определения амплитуд гармоник как функция погрешности измерения частоты основной гармоники (Δf)

НАЗНАЧЕНИЕ

КИУ комплексно решает задачу контроля показателей качества (в соответствии с ГОСТ 13109-97) и учета количества электроэнергии при точности не хуже 1 % и достоверности результатов, благодаря специально разработанным алгоритмам цифровой обработки сигналов, обеспечивающим единство измерений при обработке реальных сигналов сложной формы в условиях изменения частоты колебаний в пределах 50 ± 1 Гц. Предназначено для замены существующего парка первичных датчиков их альтернативными решениями, свободными от недостатков штатных измерительных трансформаторов.

ПАРАМЕТРЫ РАЗРАБОТАННОГО МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА

Радиоканал КИУ реализован на стандартном оборудовании со стандартным интерфейсом с дальностью передачи до 3 км в дуплексном режиме, что обеспечивает как передачу данных, так и автоматический режим периодического контроля функционирования аналоговых и цифровых блоков устройства.

КИУ содержит автономный источник бесперебойного питания с отбором энергии (до 100 Вт) с фазного провода.

КИУ предназначено для использования как производителями, так и потребителями энергии и не требует для установки вспомогательных сооружений.

Экспериментальный макет КИУ для линий передачи 220 кВ имеет габариты $4,3 \times 0,7 \times 0,7$ м и массу 450 кг и создан на основе отечественной элементной базы.

Разработанная конструкция КИУ предполагает экономичный процесс периодической поверки, что позволит стимулировать внедрение таких систем в практику электроэнергетики.

РАЗРАБОТКА ЗАЩИЩЕНА ДОКУМЕНТАМИ АВТОРСКОГО ПРАВА И ОПИСАНА В СЛЕДУЮЩИХ ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

1. **Модуль обработки сигналов** с датчиков тока и напряжения в масштабе реального времени. Свидетельство РФ официальной регистрации программы для ЭВМ. № 2003611816, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ, Москва, 30.06.03 г.
2. **Автоматизированная система** контроля и учета электроэнергии. Патент РФ на изобретение. № 2224260 по заявке №2002117258 / 09 (018219) от 28.06.2002 г., МПК 7 G 01 R 11/48, БИ № 5 от 20.02.2004 г.
3. **Автоматизированная система** контроля и учета электроэнергии. Патент РФ на изобретение. № 2229724 по заявке №2002117252 / 09 (018219) от 28.06.2002 г., МПК 7 G 01 R 11/48, БИ № 15 от 27.05.2004 г.
4. **Бунин А.В., Геворкян В.М., Казанцев Ю.А., Михалин С.Н.** Прецизионные автоматизированные измерения гармонического состава напряжения и тока в высоковольтных ЛЭП. Сборник докладов Седьмой Российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости «ЭМС-2002». Санкт-Петербург, ВИТУ, 18-20 сентября 2002 г., с. 468 – 473.
4. **Геворкян В.М., Казанцев Ю.А., Михалин С.Н.** Проблема цифровой обработки сигналов при измерении параметров качества электроэнергии. VII Симпозиум «Электротехника 2010», Московская обл., май 27-29 2003 г. Тезисы докладов. с. 171; Симпозиум «Электротехника 2010», Московская обл., май 27-29 2003 г. Доклады, Т.1, VII с. 285-290.
5. **Бунин А.В., Геворкян В.М., Казанцев Ю.А., Михалин С.Н., Новиков Б.С.** Комплексное измерительное устройство автоматизированной системы учета количества и контроля качества электрической энергии в высоковольтных сетях. Производственно-технический журнал «ЭЛЕКТРО», Издатель «Электрозавод», г. Москва, Рег. № 004102 Минпечати, № 5, 2003, с. 18-22 .
6. **Бунин А.В., Геворкян В.М., Казанцев Ю.А., Михалин С.Н., Новиков Б.С., Полукаров В.И.** Высоковольтное комплексное измерительное устройство для системы автоматизированного контроля качества и учета количества электроэнергии (АСКУЭ). Сб. Докладов Восьмой Российской научно-технической конференции по Электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности, ЭМС-2004, С-Петербург, ВИТУ, 2004 г., с.421-426.
7. **Бунин А.В., Геворкян В.М., Казанцев Ю.А., Михалин С.Н., Новиков Б.С., Полукаров В.И.** Комплексное измерительное устройство автоматизированной системы учета количества и контроля качества электрической энергии в высоковольтных сетях. Производственно-технический журнал «ЭЛЕКТРО», Издатель «Электрозавод», г. Москва, Рег. № 004102 Минпечати, № 1, 2005, с. 32-37.
8. **Михалин С.Н., Геворкян В.М.** Проблемы цифровой обработки сигналов в системе автоматизированного контроля качества и учета количества электроэнергии (АСКУЭ). Вестник МЭИ, № 1, 2005, с. 86 – 92.
9. **Михалин С.Н., Геворкян В.М.** Прецизионное измерение частоты основной гармоники полигармонических сигналов. Вестник МЭИ, № 2, 2005, с. 115 – 118.
10. **Геворкян В.М., Казанцев Ю.А., Михалин С.Н.** Автономное устройство контроля качества и измерения количества электрической энергии на высоком напряжении линии передачи. VIII Симпозиум «Электротехника 2010», Московская обл., май 23-27 2005 г. Тезисы докладов. с. 166-167 (рус.); с. 294-295 (англ.).
11. **Бунин А.В., Вишняков С.В., Геворкян В.М., Казанцев Ю.А., Михалин С.Н., Полукаров В.И.** Система приема-передачи данных автономного комплексного измерительного устройства автоматической системы контроля ПК электроэнергии в сетях высокого напряжения. Сб. докладов Девятой Российской научно-технической конференции по Электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности, ЭМС-2006, С-Петербург, ВИТУ, 2006 г., с.443-448.

12. **Геворкян В.М., Казанцев Ю.А., Михалин С.Н.** К вопросу учета фактического вклада субъектов электрических сетей в искажение параметров качества электрической энергии. Промышленная энергетика, № 5, 2007, с.38 – 41.

13. **Геворкян В.М., Михалин С.Н.** Проблема учета фактического вклада субъектов электрических сетей в искажение параметров качества электрической энергии. Технологии ЭМС, № 1 (20), 2007, с. 3 – 10.

ФОРМЫ СОТРУДНИЧЕСТВА:

- Продажа лицензии на производство.
- Разработка измерительного устройства с иными характеристиками и дополнительными требованиями.

КОНТАКТЫ

Геворкян Владимир Мушегович, кафедра электрофизики МЭИ(ТУ),
тел./факс 362-12-22, E-mail: gvm@emc.mpei.ac.ru