

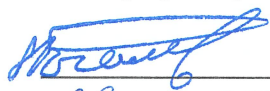


Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы»

109044 г.Москва, Воронцовский пер., дом 2
Тел. (495) 912-1078, 912-5799, факс (495) 632-7285
E-mail: dtv@nts-ees.ru, <http://www.nts-ees.ru/>
ИНН 7717150757

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель научно-технической
коллегии НП «НТС ЕЭС»,
д.т.н. профессор


Н.Д. Роголев
« 28 » 05 2024г.

ПРОТОКОЛ

заседания секции «Автоматизированный учет электроэнергии и управление
электропотреблением» НТС ЕЭС

по теме

Применение балансовых методов для контроля сетей различного класса напряжения

16.05.2024 г.

№ 23

г. Москва

Заседание проводилось в комбинированном формате (очно и дистанционно).

Присутствовали: 26 человек (список прилагается)

На заседании выступили:

С вступительным словом Александр Васильевич Покатилов - председатель секции «Автоматизированный учет электроэнергии и управление электропотреблением». Александр Васильевич доложил об участии в составе делегации от НТС ЕЭС в XII Российском Международном Энергетическом форуме (РМЭФ-2024), прошедшем в Санкт-Петербурге 24-26 апреля 2024 г. Обратил внимание на доклад китайского представителя про развитие энергетики Китая, где было отмечено три основных приоритета. Первый приоритет — это возобновляемые источники энергии (далее - ВИЭ), второй – Smart grid («интеллектуальные сети электроснабжения»), третий – линии электропередач ультравысокого напряжения (500 кВ и выше). На карте были показаны планируемые линии электропередач, в том числе, линии, проходящие через Россию, Сибирь в Европу. В части нормативной документации, согласно которой планируется

осуществлять данные проекты, было отмечено, что китайские коллеги учли лучшие международные практики и планируют реализацию согласно разработанной в Китае нормативной базе.

Также, был отмечен интересный доклад по поводу использования искусственного интеллекта (далее – ИИ) для определения аварий в силовых трансформаторах. На высоких частотах проводятся запись заводских характеристик силового трансформатора и обнаруживается, что каждый производитель и каждый трансформатор имеет свою уникальную характеристику для этих частот. По мере эксплуатации можно эту характеристику снимать и прогнозировать возникновение той или иной неисправности. На сегодняшний день ИИ был обучен на 300 вариантах аварий. Данный проект еще в начале своей разработки.

Был отмечен проект обратного инжиниринга. Востребованная работа, в силу того, что зарубежные производители ушли с российского рынка. Например, если какая-то деталь вышла из строя, для того, чтобы ее заменить, необходима документация на нее. Обратный инжиниринг позволяет воспроизводить документацию по конкретному экземпляру. Обратный инжиниринг программного обеспечения в настоящее время вызывает затруднения.

Ознакомиться с презентациями круглого стола НТС ЕЭС РМЭФ-2024 можно на сайте НТС ЕЭС по ссылке - <https://nts-ees.ru/rief-presentations-2024.html>.

С основным докладом «Применение балансовых методов для контроля сетей различного класса напряжения» (Приложение 1) выступил Олег Вадимович Большаков.

Доклад в целом обусловлен развитием технических возможностей выполнения синхронных изменений, возможностью быстрой и оперативной передачи информации, развитием цифровых подстанций и т.д. Используя эти возможности можно реализовать новые методы метрологического контроля в электроэнергетике.

Данный доклад имеет характер постановочного сообщения и в нем затронуты вопросы, рассмотрение которых, может способствовать улучшению характеристик эксплуатации объектов электроэнергетики и метрологического контроля в режиме эксплуатации.

Основными техническими требованиями при учете электроэнергии являются:

1. Точность приборов/каналов учёта (решено, технически достижима любая разумная точность).
2. Межповерочный интервал (далее - МПИ). Идеальное решение для пользователей/потребителей средств измерений: МПИ равный сроку службы.

3. Надёжность работы каналов учёта (чем больше, тем лучше).
4. Простота эксплуатации: монтаж, конфигурирование, проверка работоспособности, автоматизированные средства поверки, замена приборов, не затратная отчётность.
5. Системная сигнализация неполадок (или нарастания проблем) с помощью статистического анализа нестационарности, небаланса и т.д.

Баланс электроэнергии - главный показатель работы энергетической системы, в учете его обычно используют, как экономическую характеристику, однако, в данном докладе баланс электроэнергии рассматривается только с технической стороны. Для сведения баланса, кроме данных с приборов учёта, необходимо рассчитывать потери, для чего необходима адекватная модель балансируемого участка сети (фидера, части ОРУ и т.д.). Чем сложнее участок сети, тем сложнее получить результат с приемлемой точностью. Если учесть, что потери в линии имеют квадратичную зависимость от тока $W = R_{\text{линии}} * I^2$, то ясно, что кроме получасового графика потреблённой энергии необходимо иметь график тока или интеграл квадратичного значения. Без этого учёт потерь средствами измерений реализовать невозможно. Останется только рассчитываться по взаимосогласованным алгоритмам, что не относится к измерениям и зачастую приводит к спорным ситуациям. В докладе отмечено, что функция измерений интеграла по времени от квадрата тока закладывалась в счетчики электрической энергии производства Эльстер Метроника и Энергомера еще около 20 лет назад. Для расчёта потерь можно использовать результаты измерений диспетчерских или других автоматизированных систем, но они обычно имеют худшую точность.

Некоторые задачи могут быть решены измерением и обработкой токов. Счётчик электрической энергии, измеряющий напряжения, токи, время и вычисляющий количество электроэнергии используют в подавляющем большинстве случаев как коммерческие весы для электроэнергии. Но, кроме измеряемой электроэнергии можно использовать прямые измерения счетчика, учитывая, что это самое распространённое и самое точное СИ на объектах электроэнергетики. Возможны следующие применения:

1. Отслеживание и выравнивание нагрузки по фазам фидеров и, как следствие, снижение транспортных потерь и повышение надежности сети, снижение пиковых токов. Возможен тарифный коэффициент за несимметрию токов.
2. При сведении баланса токов не требуется учитывать потери поскольку на фидере большой длины происходит падение напряжения и потеря энергия, но ток остается неизменным. - Для высоких напряжений эту неизменность тока можно использовать для диагностики величины утечки на корону.

3. Отсутствие баланса токов по правилу Кирхгофа указывает на несанкционированное изменение сети («набросы»), либо неправильную работу токовых измерительных каналов.
4. Корректный учёт электроэнергии от точки поставки до точки измерений с учётом потерь по интегралу квадрата тока при одностороннем учёте.

Было также отмечено, что при малом падении напряжений в ветвях узла баланс мощности и баланс энергии будут соответствовать балансу тока. Далее был рассмотрен баланс тока с метрологической точки зрения. При сведении баланса токов не требуется учитывать сопротивление проводов, т.к. правило Кирхгофа требует знания топологии сети, а не её характеристики. Баланс соблюдается для любого момента времени для мгновенных значений токов. Инженерная оценка необходимой точности синхронизации времени для сведения мгновенных измерений синусоидальных токов показывает, что если принять погрешность измерения мгновенного значения не более 1% от амплитуды синусоидального сигнала, то сдвиг времени измерения не должен превышать ~ 32 мкс (0,15% от периода синусоиды 50 Гц – 20мс). Для обеспечения погрешности измерений 0,1% необходимая точность синхронизации 3 мкс. Это требование можно смягчить статистической обработкой, но порядок величин при этом сохранится. Для обеспечения такой точности синхронизации возможно использовать:

1. GPS или ГЛОНАСС в каждой точке измерений, что достаточно затратно;
2. Радио или проводную систему связи. Каждый из этих вариантов имеет свои недостатки, беспроводные способы требовательны к месту размещения измерителей, а проводные линии связи дорогостоящие в прокладке и эксплуатации.
3. Систему синхронизации по силовой сети. Т.к. правило Кирхгофа действует как для мгновенных, так и для интегральных значений тока, то выполняемых счётчиком измерений достаточно. Все выпускаемые в настоящее время счётчики электрической энергии выполняют измерения напряжения и тока по каждой фазе, необходимую векторную обработку при измерении активной и реактивной энергий и построение фазовых (векторных) диаграмм. Ограничением этой системы синхронизации является возможный сдвиг фазы напряжения на рассматриваемом участке сети или фидере. Поэтому такой метод применим в отсутствии значительных распределённых реактивностей в рассматриваемой области. Поскольку реактивность потребителей, как правило, неизвестна, нужно обеспечивать малый импеданс сети. Интервал времени распространения в 30 мкс соответствует линейным размерам участка сети 10 км. Этого, в большинстве случаев достаточно для применения в селах, посёлках и СНТ. Точность определения угла тока для обеспечения сходимости баланса токов 1% должна быть

порядка 0,58 угловых градуса (эквивалентно 30мкс для $F=50$ Гц). Такой вариант синхронизации на сегодняшний день является оптимальным.

Далее в докладе были рассмотрены примеры системы учета электроэнергии и контроля сети 0,4кВ с совокупными измерениями в узлах, определение несанкционированного подключения и узлы с классическими каналами учета электроэнергии (шина электростанции/подстанции с отходящими линиями и классическими масштабирующими ТТ и ТН). Показано каким образом метрологический контроль измерительных каналов может быть реализован в разных случаях.

Идеальный объект для применения такого подхода — это цифровые станции и подстанции (ЦПС). Все электрические измерения выполняемые цифровыми ТТ и ТН синхронизованы по началу секунды и могут быть точно позиционированы во времени. Поэтому на ЦПС можно работать с мгновенными значениями как на модуле группового учета низковольтной сети. Более того, можно сводить балансы по линиям значительной протяженности, т.к. синхронизация по GPS/ГЛОНАСС осуществляется с постоянной точностью в федеральном масштабе. Однако на длинных линиях могут сказываться значительные реактивности, резонансы и соответствующие сдвиги фаз напряжений и токов. Применение автоматической диагностики цифровых трансформаторов тока на подстанциях и электростанциях с цифровыми измерительными каналами реализуется наиболее эффективно. Каналы измерений напряжения следует обеспечить дублированием СИ или отдельными измерениями эквипотенциальных точек, а каналы токов балансом по шинам. Сведение баланса или сверка — это только сигнализация о неполадках в группе измерительных каналов. После такого предупредительного сигнала необходимо найти конкретный канал и СИ, которые не обеспечивают правильных измерений. Уменьшение групп для сведения баланса может достигаться установкой дополнительных измерительных каналов. Можно применять статистические методы обработки измерений величин от времени, корреляционные методы и т.д. Динамику изменения небаланса тока можно использовать для предсказания увеличений суммарной погрешности СИ тока в узле свыше допустимых пределов.

При сведении баланса погрешности измерений каждый ИК дает свой вклад в небаланс. Систематические погрешности измерительных ТТ и ТН приводят к занижению показаний. Некоторые энергосбытовых компаниях во времена СССР практиковали отдельные полки для счётчиков на приём и на отдачу (использование разности систематических погрешностей счетчиков в пределах допустимой погрешности). В отношении ТТ и ТН особенно на высоких напряжениях такой механизм применять сложнее ввиду отсутствия возможности оперативного подбора ТТ и ТН. Обычно предполагается,

что случайные погрешности ТТ, ТН и счётчиков имеют нормальное распределение и, на основании этого устанавливается норма погрешности каждого измерителя/преобразователя. Эти погрешности имеют симметричное распределение ошибок и не оказывают влияния на сдвиг баланса в ту или иную сторону. Дополнительные погрешности – температурная, амплитудная и частотная обычно указаны в описании типа и контролируются поддержанием температуры, защитами и контролем режимов. При этом принято, что реальные дополнительные погрешности не должны превышать основную погрешность.

В докладе подробнее разбирается частотная погрешность. Её разделяют на две части. Первая - обусловлена отклонением основной частоты относительно номинальной. Осталось от прошлых времён, когда частота сети могла отличаться от 50 Гц значительно (на единицы герц) длительное время. Сейчас частота поддерживается системами регулирования не хуже 0,05 Гц, поэтому эта часть дополнительной погрешности реально пренебрежимо мала. Вторая часть обусловлена наличием гармоник в токе и напряжении и возможностью их измерения средствами измерений. Счетчики классов точности 0,2S и 0,5S должны удовлетворять ГОСТ 31819.22-2012, в котором регламентирована дополнительная погрешность измерений мощности основной частоты при наличии 4% мощности 5-ой гармоники. Указано, что добавление 4% мощности 5-ой гармоники не должно изменять показания более чем на 0,4% для счётчиков 0,2S. Откуда следует, что счётчики не должны измерять энергию гармоник. Это правильно с одной стороны, поскольку именно энергия частоты 50Гц является товаром (вырабатывается электростанциями и потребляется потребителями). Энергия высших гармоник становится «невидимой» или потерянной счётчиками, хотя согласно закону сохранения энергии, она уменьшает энергию основной гармоники и влияет на баланс. Это системная ошибка. Для сведения баланса по мощности (из закона сохранения энергии) необходимо измерение мощности вместе с гармониками.

Для сетей, где единицы процентов мощности содержится в гармонических частотах (с тенденцией роста), не измеряемых счётчиками, измерить мощность точнее этих процентов даже эталонными приборами не представляется возможным. Поэтому является бессмысленным желание увеличить точность СИ до 0,1 - 0,2, определенным для частоты 50 Гц, в условиях реального КЭ с содержанием гармоник 2%, а местами до 4 - 6% и методической погрешностью, обусловленной ГОСТ 31819.22-2012. Возможно так объясняется зависимость небаланса ЭЭ от уровня напряжения сетей (в сетях низкого напряжения гармоник значительно больше и небаланс тоже). Сложности и цена поверки/калибровки средств измерения также возрастают для высоких классов. Средства измерения класса 0,2 требуют эталонов класса 0,05, а СИ класса 0,1 - эталонов класса 0,02.

Выбор высокоточных средств измерения поднимает планку ожидаемой точности измерений, но если эти измерения выполняются вне рабочей области, для которой определяется точность СИ, то надежды на увеличение точности измерений не оправдываются. Как обоснование увеличения точности СИ в реальных условиях в докладе предложено использование их на класс ниже, но с увеличением межповерочного интервала. Например, если в измерительном канале требуется устанавливать СИ классом точности $0,5S$, то предлагается применить СИ классом точности $0,2S$, но увеличить его МПИ.

Была также высказана идея с подтверждающим оценочным расчётом, что для тупиковых линий, фидеров с односторонним питанием и распределённой нагрузкой переменное сечение проводника может оказаться более эффективным решением для уменьшения потерь, чем проводник постоянного сечения.

В обсуждении доклада приняли участие:

Представители АО «НТЦ ФСК ЕЭС», ПАО «Мосэнерго», ФГБУ «ВНИИМС», ООО НПП «ЭКРА», члены секции НП «НТС ЕЭС».

Обратили внимание, что под контролем сети посредством применения балансовых методов понимается контроль метрологических характеристик.

Отметили идею доклада о необходимости сравнения измерений значений тока в счетчиках и АСУ ТП, телеизмерений и т.д. То есть, контролироваться должны не только балансы электроэнергии, но и балансы токов. Так же, есть ряд измерительных систем (защит, АСУ ТП и т.д.) имеющих точность значительно хуже, чем коммерческие системы измерений и периодическая сверка измерений разных систем может быть весьма полезной.

ФГБУ «ВНИИМС» так же не первый год работает в направлении запуска балансового учета. Был поставлен НИР в Росстандарте, заключено соглашение об организации его на подстанции ПАО «Мосэнерго». В сегодняшнем докладе звучали некоторые алгоритмы, которые могут войти в расчет балансов вышеуказанной работы. Ввиду большого объема измерений и вычислений в научно-исследовательской работе предполагается привлечение искусственного интеллекта.

Отметили, что вопросы балансов электроэнергии достаточно сложные. В значительной степени они информационно не обеспечены, особенно в распределительных сетях. Кроме технической, данные вопросы имеют и экономическую сторону, и эти стороны тесно связаны между собой.

Понятие баланса электроэнергии многоплановое, т.к. небалансы рассчитываются на отдельных межсистемных линиях, на магистральных подстанциях, для магистральных

электрических сетей, для распределительных сетей и т.д. Для каждого из таких вычислений существует множество особенностей, которые нужно учитывать.

Отметили высокую вероятность появления проблем с балансами мощности (электроэнергии) с вводом распределенной генерации и возобновляемых источников энергии. В таких случаях использование проводника с переменным сечением будет не совсем корректно, т.к. вектор движения электроэнергии может быть направлен не только от центра производства, но и от потребителя, что тоже нужно учитывать.

Было высказано предложение об организации демонстрационных сетей, на которых можно было бы протестировать все ранее озвученные предложения по совершенствованию учета. После их отработки на демонстрационных площадках можно было приступить к тиражированию на реальных объектах.

Была сообщена информация о структурных изменениях в Росстандарте, 3 мая принято решение об объединении/ слиянии ФГБУ «ВНИИМС» и ФБУ «Ростест-Москва». Более подробная информация о данных изменениях ожидается после выпуска приказа Росстандарта.

Заслушав выступление и обсуждение секция «Автоматизированный учёт электроэнергии и управление электропотреблением» НТС ЕЭС отметила:

- ✓ Важность доклада и актуальность проблемы, необходимость поиска технических решений и их внедрения.
- ✓ Целесообразность выпуска нормативных документов для счётчиков электроэнергии (кроме функции измерений мощности (энергии) без учёта гармоник)) обеспечить функцию измерений с учётом гармоник для отслеживания распределения и балансирования энергии согласно закону сохранения энергии.
- ✓ Эффективно внедрять приборы группового учёта для контроля сетей и сведения промежуточных балансов по потребителям (балансы по токам).
- ✓ Для оперативного контроля метрологических характеристик средств измерений на энергообъекте целесообразно внедрять автоматическое сличение результатов измерений одинаковых физических величин с измерителями других автоматизированных систем энергообъектов с использованием каналов учёта электроэнергии как наиболее точных средств измерения.
- ✓ Для цифровых электростанций/подстанций целесообразно внедрить баланс токов по шинам как средство контроля работоспособности цифровых ТТ.

- ✓ Для аналоговых ПС и электростанций целесообразно ввести дополнительное измерение мгновенных токов на шинах/узлах и сведение баланса тока в узлах для контроля метрологических характеристик аналоговых ТТ.
- ✓ Целесообразно рекомендовать разработать обоснование применения СИ со снижением эксплуатационного класса точности для увеличения МПИ.
- ✓ Целесообразно рекомендовать провести работы по обоснованию выполнения линий/фидеров с распределённой нагрузкой переменным сечением для минимизации потерь при передаче ЭЭ.

Секция «Автоматизированный учет электроэнергии и управление электропотреблением» НТС ЕЭС решила:

1. Продолжить рассмотрение вопросов и этапов решений сведения балансов электроэнергии на заседаниях секции. Собрать и разослать членам секции статьи по использованию балансовых методов.

Ответственный: Председатель секции

Срок: при составлении плана работ на следующий год

2. Рекомендовать ФГБУ «ВНИИМС» и ФБУ «Ростест-Москва» продолжить работу в постановке НИР по балансовому учету.

Ответственный: Члены секции от ФГБУ «ВНИИМС» и ФБУ «Ростест-Москва»

Срок: отчет на следующем заседании секции

3. Направить в профильный комитет Росстандарта письмо с запросом о разъяснении методического противоречия при выполнении измерений электрической мощности/энергии согласно ГОСТ 31819.22-2012 и значительным содержанием мощности/энергии в побочных гармонических составляющих в реальных сетях.

Ответственный: Председатель секции

Срок: 28.06.2024

4. Рекомендовать организациям, реализовавшим на электростанциях/подстанциях цифровые измерительные каналы различной архитектуры выполнить пилотные проекты по метрологическому контролю цифровых ТТ в соответствии с методом, изложенным в презентации.

Ответственный: Члены секции от организаций


Срок: отчет на следующем заседании секции

5. Рекомендовать сетевым организациям и производителям средств учёта электроэнергии разработать, производить и внедрять групповые средства учёта для реализации совокупных измерений и метрологического контроля в рабочем режиме.

Ответственный: Члены секции от Россетей

Срок: отчет на следующем заседании секции

Первый заместитель председателя
Научно - технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор


В. В. Молодюк

Ученый секретарь научно-
технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.


Я.Ш. Исамухамедов

Председатель секции
«Автоматизированный учет
электроэнергии и управление
электропотреблением»,
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.


А.В. Покатилов

Ученый секретарь секции
«Автоматизированный учет
электроэнергии и управление
электропотреблением»,
НП «НТС ЕЭС»


Е.Ю. Евенок

Список участников заседания секции «Автоматизированный учет электроэнергии и управление электропотреблением» НТС ЕЭС, состоявшегося 16 мая 2024 года

1. Бартош Регина Тадэушевна, ПАО «Мосэнерго», приглашенный.
2. Бирюков Алексей Константинович, ПАО «Россети», приглашенный.
3. Большаков Олег Вадимович, член секции.
4. Быков Дмитрий Сергеевич, ПАО «Мосэнерго», член секции.
5. Васенков Алексей Евгеньевич, ПАО «Мосэнерго», приглашенный.
6. Воротницкий Валерий Эдуардович, АО «НТЦ ФСК ЕЭС», член секции.
7. Гончарова Ольга Юрьевна, ПАО «Мосэнерго», приглашенный.
8. Гришин Максим Викторович, Росатом, член секции.
9. Губа Ирина Сергеевна, ПАО «Мосэнерго», член секции.
10. Евенок Екатерина Юрьевна, ПАО «Мосэнерго», ученый секретарь секции.
11. Каспарова Екатерина Бююкагановна, ПАО «Мосэнерго», приглашенный.
12. Киселев Виктор Вячеславович, ФГБУ «ВНИИМС», член секции.
13. Коржов Геннадий Васильевич, ПАО «Мосэнерго», приглашенный.
14. Коровкин Роман Владимирович, ФБУ «Ростест-Москва», член секции.
15. Кустиков Алексей Валерьевич, ООО НПП «ЭКРА», приглашенный.
16. Макаренко Игорь Геннадьевич, Ассоциация «НП Совет рынка», член секции.
17. Матисон Владимир Арнольдович, ООО НПП «ЭКРА», приглашенный.
18. Муртазалиева Фариза Хабибовна, ПАО «Мосэнерго», член секции.
19. Новиков Вадим Владимирович, член секции.
20. Плакидин Роман Сергеевич, ООО НПП «ЭКРА», приглашенный.
21. Покатилов Александр Васильевич, ПАО «Мосэнерго», руководитель секции.
22. Ромашина Татьяна Васильевна, ПАО «Мосэнерго», член секции.
23. Тащин Антон Вячеславович, ООО «Ситиэнерго», член секции.
24. Хавроничев Олег Валерьевич, ПАО «ТГК-1», член секции.
25. Чернецов Виктор Федорович, ФГБУ «ВНИИМС», член секции.
26. Шаталов Андрей Валерьевич, ПАО «Мосэнерго», приглашенный.