

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ. ПРИНЦИПЫ И ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.

Судить о соответствии качества ЭЭ установленным требованиям возможно лишь по объективным данным - показателям качества электрической энергии, получаемым *с помощью измерении*.

1. НУЖНЫ ЛИ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И НЕЛЬЗЯ ЛИ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПКЭ ПРИБОРЫ ОБЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ?

Измерители ПКЭ - приборы, которые измеряют напряжения, т.е. по своему исходному назначению являются вольтметрами. Кроме того, для измерений ПКЭ могли бы требоваться *частотомеры* и *спектроанализаторы*. Но всё это *в теории*. Современная практика такова: все эти приборы лабораторного применения. Они не предназначены для использования при низких и высоких температурах. Эти СИ мало устойчивы к ударам и вибрациям, специально не защищены от мощных электромагнитных воздействий, не защищены по входам от возможных многократных перегрузок и т.п. Конечно, такие приборы можно доработать, модернизировать, дополнительно защитить... Но будет правильно ориентироваться на специализированные приборы.

2. КАКИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРЕДЪЯВЛЯЮТСЯ К СОВРЕМЕННЫМ СИ ПКЭ?

Прежде ответим на вопрос: «А для каких измерений нам СИ необходимо?»
Обобщенных целей измерения мы различаем три:

- экспресс-обследования электрической сети (*аудит*)',
- непрерывный контроль за ПКЭ (*мониторинг*)',
- обследование* электрической сети с целью выявления причин снижения качества электропитания и выработки необходимых рекомендаций по ее улучшению (управлению КЭ).

Аудит требует сравнительно простых и недорогих СИ ПКЭ. Это портативные СИ. Задача аудита - выявление устойчивых аномалий электрических сетей, т.е. таких, которые проявляются на относительно коротких временах наблюдения (от минут до нескольких часов).

Мониторинг более сложная задача и требует в общем случае более дорогого аппаратного и программного решения. Это пространственно распределенные, как правило, измерительно-информационные сети с централизованным управлением и контролем (измерительно-вычислительные комплексы).

Обследование, с целью управления КЭ проводится специализированными фирмами, имеющими необходимые лицензии на проведение такого рода работ. Им требуются значительно более сложные, прецизионные, «тонкие» и многофункциональные, значительно более дорогие инструменты.

Самые общие требования к СИ ПКЭ:

- возможность использования СИ в промышленных (жестких) условия;
- возможность контролировать три фазных (междуфазных) напряжения одновременно;
- дополнительная возможность контроля разных токов (см, далее);
- наличие регистрирующих свойств;
- в ряде случаев - соответствие требованиям Стандарта.

3. НОМЕНКЛАТУРА СОВРЕМЕННЫХ СИ ПКЭ

3.1. Зарубежные фирмы-изготовители и их приборы

Во всех развитых странах существует множество фирм, выпускающих СИ параметров электросетей, которые мы можем отнести к ПКЭ. Сюда включаем специализированные мультиметры, спектроанализаторы, регистраторы, измерительные системы и многое другое.

Наиболее известные фирмы:

Dganetz (США); Lem (Швейцария), Voltech (Англия), Unipover (Швеция), Chauvin Arnoux (Франция), Walcher (Германия), Elcontrol Energy (Италия), Fluke (США) и др.

Рассмотрим наиболее интересные образцы.

UNIGOR390 (Lem). Самый прецизионный среди портативных мультиметр в мире. «Длина шкалы» мультиметра 300 000 точек. Предельное значение основной относительной погрешности измерения *истинного действующего значения* напряжения в конце шкалы $\pm 0,21\%$.

ANALYST 3Q (Lem) «Анализатор качества электроэнергии» производит контроль качества электроэнергии в трёхфазных сетях. Как заявляется: этот прибор способен выполнять также функции регистратора событий и осциллографа. Контролирует как напряжения непосредственно, так и токи - посредством гибких бесконтактных трансформаторов тока. Вывод результатов на встроенный графический дисплей и в компьютер.

Microvip3 plus (Elcontrol Energy). Переносной трёхфазный измеритель (3 напряжения + 3 тока). Малогабаритный, встроенный термопринтер.

WaLoG (WALCHER, Германия). Семейство портативных приборов, допускающих измерение в трёхфазных сетях (3 напряжения + 3 тока).

Графический дисплей, флеш-память, энергонезависимая память.

С.А.8332/34 (Chauvin Arnoux Франция)

Малогабаритный осциллограф для измерений» трёхфазных электросетях. Выделение до 50-й гармоники тока и напряжение. Цветной экран, внутренняя память 4 Мбайта.

PP1 (Dganetz (США)). Мощная переносная система для проведения долговременных исследований в трёхфазных сетях. Графический дисплей, термопринтер, флеш-карта, ударопрочный пластмассовый корпус.

За рубежом выпускается много приборов обсуждаемого назначения - качественных, добротных, надёжных и, даже, - красивых. Основной их недостаток - относительно высокая цена (тысячи у.е.). Кроме того: ни один из западных приборов не аттестован на соответствие Стандарту.

Однако главная проблема в использовании зарубежных приборов в другом. Приборы функционально сложные, по техническим описаниям не всегда удается прочувствовать все его недостатки. И бывает досадно, когда функциональные недостатки прибора обнаруживаются в процессе его освоения, когда уже деньги потрачены. Отечественный производитель в этом смысле более гибок: в ряде случаев он идёт на доработку изделия, разумно предполагая, что это расширит рынок продаж.

3.2. Отечественные фирмы-производители и их изделия

Назовём наиболее успешные фирмы [8 - 10]:

НПП «Энерготехника» (Пенза), 000 «Марсэнерго», 000 «Парма» (обе - С-Петербург), 000 «Энергоконтроль», 000 «НПФ »СОЛИС-С» (обе - Москва), ИВК «Омск» (Омск).

Особенность разработанных этими фирмами изделий является соответствие их характеристик требованиям Стандарта.

«Ресурс - UF2 и UF2M» ("Энерготехника"). Трёхфазные измерители ПКЭ для стационарного использования (UF2) и мобильного (UF2M). Одновременно измеряют четыре напряжения (фазные + напряжение между нейтралью и защитным заземлением) и четыре тока (включая ток нейтрали). Широкий диапазон измерения токов.

«Энергомонитор 3.3» («Марсэнерго»). Может использоваться как переносной эталонный счётчик и анализатор качества электроэнергии. Контролирует три напряжения и три тока.

«Парма РК 3.01» («Парма»). Регистратор параметров качества электроэнергии. Число контролируемых сигналов - 3 напряжения.

«ППКЭ» («НПФ «Солис-С»). Прибор контроля ПКЭ. Число контролируемых сигналов - 3 или 6 напряжений.

ИВК «Омск-М». Основная особенность: число контролируемых каналов до 15. Каналы имеют универсальное назначение: по выбору это каналы для измерений напряжений или каналы для измерения токов. Такой комплекс незаменим в случае выявления источников аномалий в сложных системах распределения электрической энергии.

3.3. Сравнительный анализ изделий

Мы не делаем детального сравнения представленных СИ. Очевидно, всё многообразие приборов имеет право быть представленными на нашем рынке. На рынке давно уже обозначены дистрибьюторы зарубежных фирм. Ряд из приборов уже имеет российские сертификаты.

Отечественные приборы, как правило, интеллектуально и функционально более сложные приборы. Они сразу разрабатывались на соответствие Стандарту. Однако и цена их для наших потребителей пока что велика. Другой недостаток - малая распространённость приборов в регионах и слабая их техническая поддержка.

Решение последней проблемы позволит дать более объективную сравнительную оценку.

3.4. Основные выводы

Отечественный рынок СИ ПКЭ хотя и насыщается, но медленно и приборами в основном дорогими. Основные проблемы:

высокая цена, низкий уровень технической поддержки и слабая теоретическая подготовка технического персонала. Дополнительная трудность - практическое отсутствие специальной литературы по проблематике некачества электрической энергии, номенклатуре и практике применения СИ ПКЭ.

Курсы подготовки специалистов проходят по крайней мере в МЭИ и «НЦ ЛИНВИТ». Техническая литература ещё в проектах. Мы же наметим пути расширения номенклатуры СИ ПКЭ.

4. ПЕРСПЕКТИВЫ РЫНКА СИ ПКЭ

Быстрое насыщение рынка приборами возможен при условии, если проблематикой создания СИ ПКЭ займутся крупные фирмы, такие из них, которые способны одномоментно вложить несколько миллионов у.е.: на НИОКР,

производство, «раскрутку» идей и собственно разработок, переподготовку кадров, стимулирование создания региональных центров технической поддержки.

Рассмотрим техническую сторону проблемы расширения номенклатуры СИ ПКЭ.

5. ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ СИ ПКЭ

Создать СИ ПКЭ - задача не из простых. Приходится решать целый ряд проблем:

реализация жестких метрологических требований, требований функциональной надёжности, бесперебойное питание при длительной работе, работа в жестких условиях окружающей среды и т.п.

Рассмотрим некоторые, лежащие на поверхности проблемы.

5.1. Разработка общероссийского стандарта на СИ ПКЭ

СИ ПКЭ могут строиться по различным структурным схемам. Большую роль играет программная часть выделения ПКЭ. Основной алгоритм программной обработки заложен Стандартом, однако, и он может иметь варианты реализации. В конечном итоге это приводит к тому, что результаты измерений нескольких различных по типу приборов в относительно банальных случаях с большой точностью совпадают, а в случае нетривиальных искажений могут существенно отличаться. Этого нельзя допускать как дискредитацию целого направления в приборостроении. Выход из положения - создание приборов по стандартизированным структурам и в соответствии со стандартизированными алгоритмам. Ситуация аналогична вольтметрам переменного тока: показания вольтметров с различными типами выпрямителей различаются и даже существенно. Выход из положения -ограничение области применения вольтметров. Нечто похожее можно предусмотреть и для СИ ПКЭ.

5.3 Обобщённая структурная схема СИ ПКЭ

Дадим обобщённую структурную схему СИ ПКЭ (рис.1).



Рис. 1 Обобщённая структура СИ ПКЭ:

А-устройство адаптации входных сигналов к цифровой среде; В-устройство цифровой обработки первичной информации (вычислитель); О-устройство отображения информации; Р-устройство регистрации информации; Т-устройство трансляции информации; М-устройство модификации режимов работы; У-устройство управления; П- питание

Основное назначение СИ ПКЭ - выделить из исходных сигналов собственно ПКЭ. Полученная информация либо используется на месте оператором посредством О, либо передаётся в верхний уровень системы посредством Т, либо регистрируется Р с целью отложенного потребления. Все эти функции могут в ряде случаев могут выполняться одновременно.

Структурная схема изделия дополнена «паразитным» элементом - «окружающая среда». Этот элемент всегда следует учитывать при проектировании СИ ПКЭ - он много создаёт проблем.

Устройства гальванического разделения.

СИ ПКЭ - средство не лабораторного применения. Контролируемые сигналы «не обязаны» укладываться в предполагаемый диапазон измерений. Контролируемые сигналы могут принимать аварийные значения и разрушать измерительные каналы, если не предусмотреть специальных схем защиты.

УГР может выполнять в изделии четыре функции:

- функциональное разделение входных каналов;
- защиту части схемы от аварийных воздействий;
- защиту удалённых потребителей информации от аварийных воздействий;
- защиту чувствительной части схемы от помех, вызываемых другими схемами.

Это важный структурный элемент изделия, от него во многом зависит, в том числе, себестоимость аппаратной части.

На рисунке 2 показаны возможные места расположения УГР.

Наиболее правильное, но, одновременно, и самое дорогое расположение УГР - в аналоговых цепях устройства адаптации. Компромиссное расположение - между А и В. УГР, расположенное в Т, защищает информационную сеть, совершенно не заботясь о собственно СИ ПКЭ.

Понятно, что техническое описание СИ ПКЭ должно обязательно информировать пользователя о местах расположения УГР.

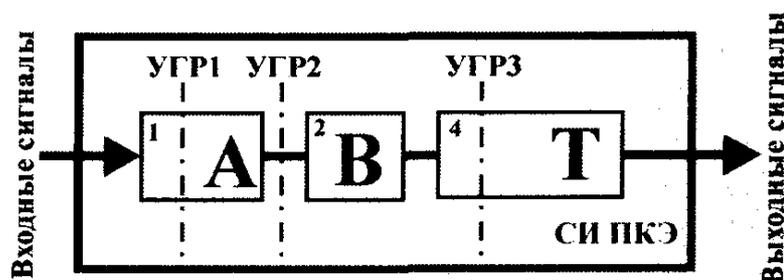


Рис.2 Возможные места расположения УГР

Возможность измерения токов.

Исходными сигналами для СИ ПКЭ являются фазные/междуфазные напряжения. Однако современный опыт показывает, что крайне желательно наряду с напряжениями также измерять и сопутствующие им фазные/междуфазные токи. Причин по крайней мере две: возможность выявления источников возникновения аномалий и попутно - контроль за потребляемой мощностью (что также важно при анализе).

Поэтому при детализации структурной схемы СИ ПКЭ необходимо также отражать элементы преобразования (измерения) токов (Рис.3).

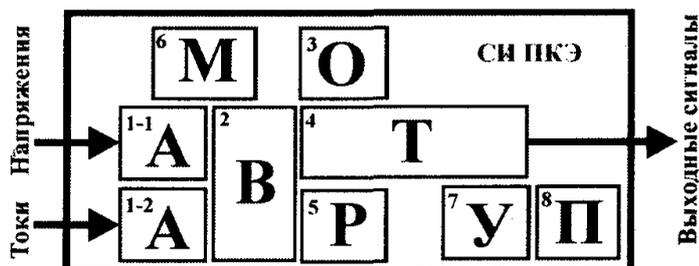


Рис.3. Структурная схема СИ ПКЭ с адаптером измеряемых токов.

5.4. Структурная схема измерительных каналов СИ ПКЭ

Наиболее ответственная часть любого СИ и СИ ПКЭ, в частности, - измерительный канал. Так обычно принято называть группу структурных элементов, реализующую функции измерения. В нашем примере это А+В. Где А выполняет первичное преобразование входного аналогового сигнала в цифровой - осуществляет ввод первичного сигнала в цифровую среду. Элемент В осуществляет обработку оцифрованных значений с целью выделения информации - показателей качества электрической энергии.

Измерительный канал определяет метрологические свойства СИ. При этом, элемент А его структуры ответственен в основном за *инструментальную* составляющую погрешности, а элемент В - *методическую*.

Обобщённая структурная схема адаптера входных сигналов дана на рисунке 4.



Рис.4. Структурная схема измерительного канала:

З-схемы защиты канала; Н-схема нормализации сигнала; Ф-фильтр низкой частоты; Д-дискретизатор входного сигнала; К-устройство квантования сигнала (АЦП)

Схема Н выполняет в общем случае две функции:

- преобразует входную физическую величину (сигнал) в напряжение, т.е. в сигнал, доступный для последующих преобразований. Это функция реализуется при измерении фазных/междуфазных токов;

- трансформирует диапазон входных сигналов и согласует его с последующими преобразователями.

Схема Ф - типичная схема защиты информации от сопровождающего её «мусора». Фильтр низкой частоты выделяет актуальный спектр сигнала.

Схема Д - преобразует непрерывный сигнал в набор дискретных значений.

Схема К - преобразует дискретизированный входной сигнал в код - *квантует* сигнал.

Важное назначение имеет сигнал «синхронизация». Этот сигнал задаёт моменты времени оцифровки (функция Д+К) измеряемых сигналов. В соответствии с требованиями последующей обработки (Фурье-преобразование) на периоде основной частоты сигнала должно укладываться целое число дискретизированных значений. Это можно реализовать двумя способами.

Аппаратный способ. Устройство автоматической подстройки частоты дискретизации исследуемого сигнала (АПЧД).

Хорошо известны и широко применяются, особенно в радиотехнике, специальные схемы (схемы АПЧ), которые следят за частотой исследуемого сигнала и вырабатывают высокочастотный цифровой сигнал (прямоугольные импульсы), с частотой, кратной частоте исходного сигнала. В нашем случае следить необходимо за всеми тремя фазными напряжениями, с тем, чтобы пропадание одного или двух напряжений не приводило бы к срыву синхронизации (рис.5).

Такое структурное решение было рекомендовано в одном из документов международной электротехнической комиссии.

Основные недостатки способа: относительно сложная реализация и высокая инерционность в режимах провалов-перенапряжений контролируемой сети.

Необходимо иметь в виду к тому же, что такой способ формирования сигнала синхронизации сопряжен с появлением дополнительной погрешности

инструментального характера и требует дополнительного изучения и учёта в метрологических расчётах.

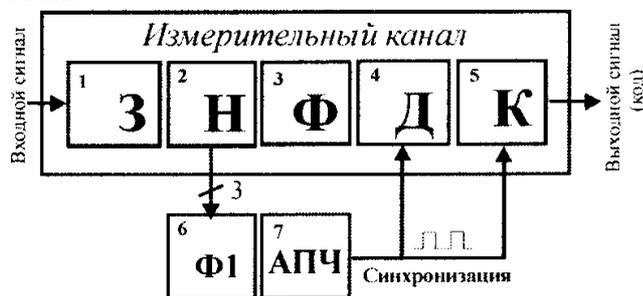


Рис.5. Аппаратный вариант синхронизации работы измерительного канала. Ф1-полосовой фильтр; АПЧ-схема автоматической подстройки частоты.

Аппаратно-программный способ. В этом случае алгоритм измерения реализуется в два этапа: на первом этапе в течение двух-четырех периодов основной частоты измеряется собственно текущее значение частоты. На втором этапе частота предполагается неизменной, и частота дискретизации рассчитывается и формируется, исходя из измеренного значения.

Погрешность, вносимая этим способом, имеет наряду с инструментальной составляющей (генерация синхросигналов), также и методическую (предположение краткосрочной неизменности основной частоты). Надёжная оценка методической составляющей возможна путём математического моделирования свойств сетей питания или при проведении масштабных физических исследований этих сетей.

5.5. Структура питания

Организация питания для СИ ПКЭ требует отдельного серьёзного рассмотрения. Недооценка проблемы может привести к ненадёжной работе изделия или существенного снижения его потребительских свойств.

Существует четыре варианта питания: от аккумулятора, источника измеряемого сигнала, отдельной сети (постоянного или переменного тока) и комбинированное. Ориентация на аккумулятор приводит к жестким требованиям к потреблению. В противном случае аккумулятор будет большим и тяжелым, либо время непрерывной работы будет существенно снижено. Кроме того, далеко не все аккумуляторы хорошо работают при экстремальных температурах, требуют «внимательного» к ним отношения, в ряде задач будет необходимо строго контролировать их энергоёмкость. Аккумуляторы часто дороги.

Питание от измеряемого сигнала имеет казалось бы преимущество, однако и в этом случае могут возникать проблемы.

Источник питания должен быть трёхфазным, с таким расчётом, что пропадание одной или двух из фаз не приведёт, в общем случае, к нарушениям в работе СИ ПКЭ.

Если источники сигналов - измерительные трансформаторы, то отбор мощности от них существенно ограничен.

Использование специального сетевого питания - редкий случай и реализуем в большей степени для стационарных изделий, решающих задачи мониторинга.

Таким образом, идеального решения не существует и выбор схем питания будет зависеть от назначения СИ ПКЭ. Нам видится, что разновидности схем питания сильно коррелируют с представлениями о группах СИ ПКЭ, представленными ранее.

5.6. Программируемые устройства

Программируемые устройства - контроллеры, представлены на рис.1 в виде структурных элементов В (вычислитель) и У (устройство управления). Первый из них фактически является сопроцессором для второго, разгружает его, являясь для него источником выделенной из объекта контроля информации.

В качестве В используется процессор, структурно ориентированный на эффективное выполнение функций фильтрации, к которым относят и т.н. преобразование Фурье.

Второй процессор (контроллер) -- это контроллер обслуживания периферийных устройств ввода-вывода информации (клавиатура, индикация, память данных и др.).

Современное состояние электроники в этой области показывает, что в ряде случаев можно отказаться от применения тандемной схемы контроллеров. Дело в том, что на рынке уже имеются недорогие (до 10\$), но высокопроизводительные 32-битные контроллеры со встроенной памятью большого объёма и драйверами стандартных серийных интерфейсов.

Заключение

Современная электронная база позволяет создавать высокоэффективные СИ ПКЭ. Рынок СИ ПКЭ пока ещё не сформирован и ждёт недорогих, надёжных и удобных изделий.