

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРИБОРАМ ДЛЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

И.С.Пономаренко, канд. техн. наук.
Московский энергетический институт (ТУ)

Постоянно возрастающие требования к качеству электроснабжения потребителей, необходимость резкого снижения потерь в электрических сетях и целый ряд других подобных проблем [1-5] ставят задачу создания и скорейшего внедрения в практику эксплуатации электрических сетей, в первую очередь распределительных сетей 6-10/0,4 кВ, специализированных приборов для регистрации комплекса параметров их режимов, необходимых для решения указанных вопросов. Речь идет о сравнительно дешевых, малогабаритных приборах, позволяющих регистрировать графики нагрузки потребителей во времени, оперативно проверять системы учета электроэнергии непосредственно на объектах, измерять и анализировать параметры режимов сети, показатели качества электроэнергии (ПКЭ) и т.д. Такие приборы должны обладать достаточно высоким «интеллектом» и отвечать целому ряду специальных требований [6-7]. Рассмотрению и обоснованию необходимого состава функциональных характеристик таких приборов и посвящена настоящая статья.

В качестве примера, для иллюстрации функциональных особенностей таких приборов, использована серия из 5 специализированных приборов «ЭРИС-КЭ.02» - «ЭРИС-КЭ.06» (см. табл. 1), разработанных на кафедре Электроэнергетических систем Московского энергетического института (технического университета) и предназначенных для проведения основного комплекса энергетических обследований в электрических сетях. Все приборы сертифицированы и включены в Госреестр средств измерений под № 21909-01. Защищены Патентом Российской Федерации на изобретение № 2145716 от 20.04.2000.

Приборы, предназначенные для проведения комплексных энергетических обследований электрических сетей (далее просто приборы), должны регистрировать графики изменения напряжения, активной и реактивной мощностей, измерять ПКЭ в соответствии с ГОСТ 13109-97, а также целый ряд других параметров. По техническому исполнению их необходимо выполнять в отдельных пластмассовых корпусах с целью возможности их использования как самостоятельно, так и в составе других информационно-вычислительных комплексов. Приборы должны быть снабжены интерфейсами связи RS-232 и RS-485, иметь сервисное программное обеспечение на ПЭВМ для более удобного просмотра результатов, их анализа и длительного хранения. Температурные режимы работы должны обеспечивать функционирование приборов при температурах до – 30 С.

Важной характеристикой приборов является обязательное наличие токовых измерительных цепей. Помимо регистрации графиков активных и реактивных мощностей на основной гармонике 50 Гц, это дает также возможность регистрировать активные и реактивные составляющие мощностей искажений с учетом направления их протекания. Если за установившиеся отклонения напряжения и отклонения частоты ответственность, как правило, целиком несет электроснабжающая организация, то несимметрия напряжения и несинусоидальность могут возникать как по вине электроснабжающей организации, так и по вине потребителей, в случае наличия у последних нелинейных искажающих нагрузок. Определение источника искажения осуществляется на основе анализа мощностей искажений [7] как по отдельным гармоникам для несинусоидальности напряжения, так и по прямой и обратной последовательности для несимметрии напряжения. Это необходимо для решения возможных споров между потребителем и электроснабжающей организацией о виновнике

вносимых искажений, а также для поиска и определения источников искажений в электрической сети [1].

Для удобства пользователей приборы целесообразно снабжать разъемными токоизмерительными клещами, позволяющими подключать токовые измерительные цепи прибора не только «во врезку» трансформаторов тока, но и непосредственно на токоведущие шины без нарушения их целостности.

Другой важной характеристикой приборов является возможность измерения электрической энергии за фиксированный интервал времени. Это позволяет использовать данные приборы для проверки систем учета электроэнергии непосредственно на объектах без их предварительного отключения и демонтажа. При этом следует иметь в виду два следующих обстоятельства.

1. В подавляющем большинстве случаев «слабым звеном» в этих системах оказываются не сами счетчики электроэнергии, а схемы их подключения к сети, включая измерительные трансформаторы. Как правило, именно в них скрыты неисправности и причины неправильной работы систем учета, которые, зачастую, невозможно обнаружить при внешнем осмотре. Опыт проведения энергетических обследований показывает, что примерно в каждой второй системе обнаруживается существенный недоучет электроэнергии, который в большинстве случаев простым внешним осмотром не выявляется. Поэтому, используемые приборы должны проверять не только сами счетчики электроэнергии, которые в большинстве случаев оказываются исправными, но и всю систему учета в комплексе, включая их схему присоединения к сети вместе с трансформаторами тока.

2. Вторым важным обстоятельством является влияние КЭ на работу счетчиков электроэнергии. Особенно остро этот вопрос встал в последнее время, когда с одной стороны, уровни несинусоидальности и несимметрии напряжения в сетях существенно возросли, а с другой стороны идет массовое внедрение электронных счетчиков, точность измерения которых гораздо больше чувствительна к КЭ, чем у индукционных.

Стандарт МЭК 1036-96 устанавливает для электронных счетчиков активной энергии целый ряд дополнительных погрешностей из-за неудовлетворительного КЭ, которые приводят к значительному (в десять и более раз) увеличению их результирующей погрешности. Проведенные в последнее время натурные исследования показали, что в реальных сетях эта погрешность может достигать 20% и более. Очевидно, что это одна из важных причин, объясняющая, почему во многих энергосистемах зачастую не удается до конца «свести» баланс электроэнергии по сети.

Кроме того, электронные счетчики, как правило, реально измеряют активную электроэнергию вместе со всеми мощностями искажений, которая при плохом КЭ ощутимо больше, чем «полезная» электроэнергия по первой гармонике, по которой они по существу проходят сертификацию и которую рассчитывает получить потребитель.

Таким образом, возникает ситуация, когда счетчики из-за плохого КЭ зачастую учитывают электроэнергию со значительными погрешностями (которые обычно оказываются «не в пользу» потребителя), и вдобавок к этому потребитель вынужден дополнительно оплачивать также все мощности искажений, поступающие из сети, несмотря на то, что они как правило наносят ему прямой ущерб. Поэтому, при проверке правильности работы систем учета электроэнергии, обязательно необходимо параллельно контролировать КЭ в сети. С этой целью рассматриваемые приборы должны не только измерять ПКЭ, но и дополнительно контролировать одновременно две составляющие активной мощности – активную мощность по первой гармонике и активную мощность с учетом всех мощностей искажения. Их сопоставление позволит оценить, связана ли погрешность системы учета электроэнергии (если такая обнаружена) с плохим качеством электроэнергии, либо она вызвана другими причинами.

Очевидно нецелесообразно ограничиваться одним типом прибора для проведения всех обследований. Необходима серия приборов для разного типа решаемых задач, обладающих различными функциональными характеристиками и стоимостными показателями. Первым в этом ряду должен быть наиболее «продвинутой» и сложный прибор, предназначенный в первую очередь для анализа качества электрической энергии на предмет ее соответствия ГОСТ 13109-97, для исследования вопросов электромагнитной совместимости, проверки систем учета, регистрации аварийных и переходных режимов и т.д., ориентированный на использование специализированными испытательными лабораториями, центрами стандартизации и метрологии Госстандарта, органами Госэнергонадзора для проведения арбитражных контрольных измерений, а также для научно-исследовательских задач, сертификации электроэнергии и т.д.

В рассматриваемой серии таким является «ЭРИС-КЭ.02». На настоящее время он является единственным из выпускаемых в России приборов, который измеряет все 11 показателей качества электроэнергии, содержащиеся в ГОСТ 13109-97, в том числе измеряет дозу фликера и импульсное напряжение. Имеет по 4 входных канала для напряжений и для токов, что позволяет исследовать вопросы электромагнитной совместимости в современных пятипроводных сетях 0,4 кВ, которые в последнее время находят самое массовое применение в системах электроснабжения различных административно-технических сооружений и в бытовом секторе. Снабжен алфавитно-цифровым и графическим дисплеями. Наличие последнего удобно для правильной фазировки прибора при подключении, при экспресс-анализе получаемых результатов на месте, так как он позволяет просматривать непосредственно на приборе графики изменения различных параметров во времени: векторные диаграммы токов и напряжений, гистограммы различных ПКЭ, спектры гармоник и другую необходимую информацию. Энергонезависимая память рассчитана на хранение всех результатов измерений за последние полтора месяца.

При проведении измерений ПКЭ на предмет соответствия КЭ ГОСТ 13109-97 вся информация группируется на интервалах 0,5 часа (по желанию заказчика интервалы могут быть увеличены до 1, 2, 4 и более часов), внутри которых определяются все ПКЭ, строятся гистограммы их характеристик, усредненные спектры гармоник и т.д. Также проводится аналогичная обработка информации на интервале сутки, месяц, где определяются величины T1 и T2 для всех характеристик, границы параметров с 95% вероятностью превышения, а также другие характеристики, требуемые ГОСТом..

Для проведения исследований электромагнитной совместимости имеются два дополнительных режима работы, когда все ПКЭ рассчитываются последовательно на интервалах либо 3 с, либо 60 с. Полученные результаты, в отличие от «ГОСТовских» измерений, в приборе предварительно не обрабатываются, а просто запоминаются во всем объеме энергонезависимой памяти в виде последовательных массивов. Далее эта информация переносится в ПЭВМ, где может быть просмотрена и обработана в соответствии с необходимыми пользователю алгоритмами.

Кроме того, имеется еще один дополнительный режим - «цифровой осциллограф», когда на интервале 10 – 20 периодов первой гармоники с дискретностью 256 точек на период осуществляется запись мгновенных значений напряжений и токов по всем входным каналам. Запуск такого режима осуществляется либо вручную, либо по заранее заданному признаку (или их совокупности) – «расчетному возмущению», например, при снижении напряжения ниже заданного уровня, превышении коэффициента несинусоидальности заданного уровня и т.д. При этом запоминаются периоды как до начала расчетного возмущения, так и непосредственно после него. Данный режим работы прибора необходим как для регистрации различных аварийных и переходных режимов в электрических сетях с целью их дальнейшего анализа, определения причин возникновения и принятия соответствующих мер по их

недопущению в дальнейшем, так и для исследования различных вопросов электромагнитной совместимости.

Возможно наличие упрощенной (и более дешевой) модификацией предыдущего прибора, которая может использоваться как специализированными лабораториями, так и самим персоналом сетей для различных сертификационных и арбитражных измерений. В рассматриваемом ряду им является «ЭРИС-КЭ.03» (**Мини**). Объем энергонезависимой памяти уменьшен до 10 суток, убран графический дисплей, исключена функция измерения импульсного напряжения. Количество входных каналов сокращено до шести (3 напряжения и 3 тока). Все остальные функции остались неизменными. Добавлена дополнительная возможность использования блока расширения, когда один прибор может анализировать токи (а значит и мощности) не в одной линии (3 канала), а одновременно в восьми линиях ($3 \cdot 8 = 24$ канала). Кроме того, токоизмерительные клещи имеют расширенный диапазон до 300 А, что позволяет в сетях 0,4 кВ подключать их непосредственно на токоведущие шины, не привязываясь к измерительным трансформаторам тока.

Исходя из опыта работы в данной области и логики развития событий, наиболее массовое применение должен найти максимально простой и дешевый прибор, ориентированный на проведение комплексных энергетических обследований в первую очередь самим персоналом сетей и промышленных предприятий, позволяющий регистрировать и анализировать графики нагрузок, оперативно проверять системы учета, измерять основные ПКЭ в сети. Учитывая, что эти задачи, как было показано ранее, неразрывно связаны между собой, наличие одного, достаточно дешевого прибора, сочетающего в себе одновременно все эти функции, является остро необходимым.

Особенно это важно для распределительных электрических сетей 6-10/0,4 кВ систем электроснабжения городов, промышленных предприятий и сельского хозяйства. Несмотря на то, что в этих сетях сосредоточены основные потери электроэнергии, в том числе и коммерческие, что именно в них возникают основные проблемы с качеством электроэнергии, информационное обеспечение этих сетей находится на самом низком уровне по сравнению с сетями более высоких классов напряжения. Информация о нагрузках, как правило, исчерпывается одним замером в период максимума нагрузки, что совершенно недостаточно для организации нормальной эксплуатации сети с точки зрения оперативного обеспечения оптимальности режимов сети, минимизации технических и коммерческих потерь электроэнергии, управления качеством электроэнергии и т.д. Использование рассматриваемого прибора во многом поможет решить указанные проблемы.

Одним из возможных вариантов именно такого прибора является изображенный на рис.1 прибор «ЭРИС-КЭ.04» (**Регистратор**). С целью удешевления из него исключена функция расчета дозы фликера, не производится расчет мощностей искажений, определяются только нечетные гармоники до 15-й включительно (хотя коэффициент несинусоидальности определяется по ГОСТу с учетом всех гармоник искажений). Отсутствуют также режимы регистрации с дискретностью 3 с и режим «цифрового осциллографа». Измерение активной и реактивной электрической энергии осуществляется только по 1-й (50 Гц) гармонике. Все остальные функции аналогичны «ЭРИС-КЭ.03», включая, в том числе, возможность расширения токовых цепей одновременно для 8 линий.

Наиболее простым и дешевым из этой серии является прибор, предназначенный для измерения ПКЭ в однофазных сетях 220 В «ЭРИС-КЭ.05» (**Индикатор**). Токовые цепи в нем отсутствуют. Все функции аналогичны прибору «ЭРИС-КЭ.04», только для одной фазы. Предполагаемая область применения – стационарный контроль КЭ в электрических сетях

различных административно-хозяйственных и бытовых помещений, а также проведение арбитражных и сертификационных испытаний КЭ.

Весьма перспективным и нужным, в смысле востребованности промышленностью и электрическими сетями, является прибор, позволяющий одновременно учитывать отпущенную (потребленную) электроэнергию и контролировать показатели ее качества в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97 и другими нормативными документами. Это позволит осуществлять дифференцированные расчеты за электроэнергию в зависимости от ее качества. Первые опытные образцы таких приборов уже появляются. Например, новый счетчик фирмы АВВ позволяет индицировать некоторые ПКЭ (правда не в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97 и без их сохранения в архиве).

Таким прибором в рассматриваемой серии является «ЭРИС-КЭ.06» (Счетчик). Это по сути первый в России сертифицированный прибор, в котором в полном масштабе совмещены две функции – измерение электрической энергии и одновременный полномасштабный (по ГОСТ 13109-97) расчет ПКЭ, потребляемой (отпускаемой) из сети. Прибор имеет один режим работы – стационарное измерение одновременно активной и реактивной энергии в обоих направлениях с классом точности 0,5. Выполнен в пластмассовом корпусе для трехфазного счетчика, что обеспечивает унификацию по габаритным и установочным размерам с другими счетчиками. Подключение к сети стандартное, как для любого 3-х фазного счетчика с трансформаторным включением.

Одновременно с измерением электроэнергии происходит непрерывное измерение 9 основных ПКЭ (всех указанных в ГОСТ, кроме дозы фликера и импульсного напряжения) в соответствии с требованиями данного стандарта. Дополнительно определяются фактические вклады потребителей и энергоснабжающей организации в искажение ПКЭ [7], определяются виновники искажения и в соответствии с полученными результатами автоматически определяются величины скидок и надбавок за потребленную (отпущенную) электроэнергию в случае ее несоответствия нормативным требованиям.

Широкое повсеместное использование данного прибора несколько задерживается в связи с тем, что существовавшие ранее нормативы величин скидок и надбавок за КЭ при расчетах за электроэнергию были недавно отменены, а новые пока не утверждены. Однако, потребители и энергоснабжающие организации могут сами их включать в договоры на поставку электроэнергии по взаимному согласию. При нежелании электроснабжающей организации идти на такой шаг, потребители могут в одностороннем порядке выставлять ей исковые требования на снижение величины оплаты за электроэнергию при ее несоответствии требованиям ГОСТа через органы арбитража.

Выводы

1. На основании анализа состава задач, возникающих при энергетических обследованиях электрических сетей, сформированы основные функциональные требования к приборам, предназначенным для таких обследований.

2. Учет электрической энергии, анализ режимов работы электрических сетей и проведение их энергетических обследований неразрывно связаны с анализом показателей качества электрической энергии и составляют единую комплексную задачу, что обязательно должно быть учтено при разработке приборов для энергетических обследований сетей.

3. Для проведения энергетических обследований электрических сетей целесообразно использовать серию приборов, отличающихся между собой как по составу решаемых задач, так и по стоимости, в зависимости от потребностей пользователей в каждом конкретном случае.

Список литературы

1. **Горюнов И.Т., Мозгалев В.С., Пономаренко И.С.** и др. Основные принципы построения системы контроля, анализа и управления качеством электроэнергии. - Электрические станции. № 12, 1998 г. С.2 – 6.
2. **Карташев И.И., Пономаренко И.С., Тедеев И.С.** и др. «Энергетическая расчетно-информационная система для контроля качества и учета электроэнергии ЭРИС-КЭ». - Промышленная энергетика. № 1, 1999 г.
3. **Дубинский Е.В., Пономаренко И.С., Тодирка С.Н.** и др. Современные информационные технологии и их аппаратное обеспечение в задачах управления системами электроснабжения. - Энергосбережение. № 6, 1999 г. С. 18 – 22.
4. **Мозгалев В.С., Тодирка С.Н., Пономаренко И.С.** и др. Информационное обеспечение автоматизированных систем управления распределительными электрическими сетями. - Электрические станции. № 10, 2001 г. С. 13 – 20.
5. **Пономаренко И.С.** Снижение потерь электроэнергии в системах электроснабжения и их приборное обеспечение. - Энергосбережение. № 1, 2002 г. С. 60.
6. **Карташев И.И., Пономаренко И.С., Ярославский В.Н.** Требования к средствам измерения показателей качества электроэнергии. - Электричество. № 4, 2000 г. С. 11 – 18.
7. **Карташев И.И., Пономаренко И.С., Сыромятников С.Ю.** Способ инструментального выявления источников искажения напряжения и определение их влияния на качество электроэнергии. - Электричество. № 3, 2001 г. С. 2 – 8.
8. **Пономаренко И.С.** Новая серия приборов «ЭРИС-КЭ» для измерения и анализа показателей качества электроэнергии и регистрации режимов электрических сетей. - Энергосбережение. № 5, 2001 г. С. 54.
9. **Гришин В.Н., Пономаренко И.С., Прокофьев И.В., Тютюнов А.О.** Патент на изобретение № 2145716 Российского агентства по патентам и товарным знакам «Анализатор качества электрической энергии». Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 февраля 2000 г.

Таблица 1

Функциональные характеристики приборов серии «ЭРИС-КЭ»

№ п/п	Характеристики приборов	Тип прибора				
		КЭ-02	КЭ-03 (Мини)	КЭ-04 (Регистратор)	КЭ-05 (Индикатор)	КЭ-06 (Счетчик)
1	Регистрация графиков активной и реактивной мощности (P,Q).	+	+	+	-	+
2	Регистрация графиков напряжения (U).	+	+	+	+	+
3	Измерение основных показателей качества электроэнергии:					
	- установленное отклонение напряжения δU_y ;	+	+	+	+	+
	- отклонение частоты Δf ;	+	+	+	+	+

	- коэффициент искажения синусоидальности напряжения K_U ; - коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$; - коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности K_{2U} ; - коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности K_{0U} ; - длительность провала напряжения Δt_n ; - коэффициент временного перенапряжения $K_{перU}$; - размах изменения напряжения δU_t .	+	+	+	+	+
4	Измерение дозы фликера (кратковременной P_{St} и длительной P_{Lt}).	+	+	-	-	-
5	Измерение импульсного напряжения $U_{имп}$.	+	-	-	-	-
6	Измерение мощностей искажения (величина и направление) по всем гармоникам до 40-ой включительно, а также для несимметрии по прямой и обратной последовательности.	+	+	-	-	+
7	Измерение мощностей и потребленной электроэнергии с учетом всех искажений.	+	+	-	-	+
8	Измерение мощностей и потребленной электроэнергии по 1-ой гармонике.	+	+	+	-	+
9	Регистрация мгновенных значений токов и напряжений («цифровой осциллограф») с дискретностью 256 точек на период.	+	+	-	-	-
10	Регистрация напряжений и токов с дискретностью $\Delta t = 3$ с.	+	+	-	-	-
11	Регистрация напряжений и токов с дискретностью $\Delta t = 60$ с.	+	+	+	+/-	-
12	Количество каналов по напряжению.	4	3	3	1	3
13	Количество каналов по току.	4	3	3	-	3
14	Наличие разъемных токоизмерительных клещей и их номинальные токи (А).	5	5,10,50,100,300	5,10,50,100,300	-	-
15	Возможность подключения дополнительных токовых каналов (одновременно контролируемых линий).	-	24 канала 8 линий 3*8=24	24 канала 8 линий 3*8=24	-	-
16	Объем энергонезависимой памяти (суток).	45	10	10	45	30
17	Наличие графического дисплея.	+	-	-	-	-
18	Стоимость (тыс. рублей), в том числе НДС и сервисное программное обеспечение.	155	95	60	20	110