

Вольтамперфазометр ВФМ-4: от фиксации событий к выявлению системных проблем в электрохозяйстве



В статье представлен вольтамперфазометр ВФМ-4, разработанный компанией «Челэнергоприбор». Переносной прибор обладает функциональными возможностями системы мониторинга. Рассмотрены его режимы работы, конфигурации и применяемые технологии.

ООО «Челэнергоприбор», г. Челябинск

Вызовы мобильной диагностики в современных сетях

Незарегистрированное срабатывание защиты, «плавающая» неисправность, исчезающая к моменту прибытия бригады, спор с энергоснабжающей организацией о качестве поставляемой электроэнергии – всё это не гипотетические сценарии, а ежедневная реальность для специалистов служб РЗА, энергетиков предприятий и энергоаудита. Фундаментальная проблема заключается в разрыве между возможностями портативных недорогих приборов (дающих лишь моментальный «снимок» параметров трехфазной сети) и дорогостоящих систем мониторинга показателей качества электроэнергии. Вольтамперфазометр ВФМ-4 (рис. 1) разработан для того, чтобы ликвидировать этот разрыв, предоставляя инженеру в полевых условиях функциональность мобильной диагностической системы для проведения глубокого анализа и регистрации параметров трехфазной сети.

Полный спектр диагностических инструментов ВФМ-4

Режим «Основной»

Этот режим является не просто одним экраном, а представляет собой целую систему отображения информации для решения оперативных задач. Такая система состоит из не-

скольких компонентов: предустановленных групп параметров и полностью настраиваемых пользователем экранов.

Предустановленные группы параметров визуально отображаются как

готовые экраны для решения типовых задач.

Экран «Измерение базовых величин» выводит напряжения (U), токи (I), частоту (f), углы сдвига фаз (φ) и коэффициент формы (КФ), допол-



Рис. 1. Вольтамперфазометр ВФМ-4 и токоизмерительные клещи

няя их векторной диаграммой для быстрой визуальной оценки правильности чередования фаз и симметрии.

«Измерение мощностей» представляет полную картину энергопотребления с разбивкой на активную (P), реактивную (Q) и полную (S) мощность по каждой фазе и суммарно, а также коэффициент мощности (КМ).

«Измерение линейных напряжений» — критически важный экран для диагностики трехфазных сетей. Одновременно отображает фазные и линейные напряжения, а также вычисляет в реальном времени параметры качества электроэнергии: напряжения прямой (U_1), обратной (U_2) и нулевой (U_0) последовательностей и соответствующие коэффициенты несимметрии (K_{2U} и K_{0U}), что позволяет мгновенно диагностировать такие проблемы, как нарушение чередования фаз или обрыв нейтралей.

Пользовательский режим обеспечивает произвольную настройку выводимых на экран параметров. Пользователь может создать до двух уникальных экранов, скомпоновав их из полного перечня измеряемых величин. На каждый экран можно вывести до шести параметров, сопроводив их векторной диаграммой. Список доступных для выбора параметров включает:

- ▶ базовые величины (фазное напряжение, сила тока, частота);
- ▶ угловые параметры (углы сдвига фаз между напряжениями, между токами, между током и напряжением);
- ▶ параметры мощности (активная, реактивная, полная мощность, коэффициент мощности);
- ▶ параметры качества электроэнергии (линейные напряжения, симметричные составляющие напряжений, коэффициенты несимметрии напряжений, коэффициент формы).

Дополнительно для выбранных величин можно активировать расчет суммарных и средних значений.

Глубокий анализ качества: режимы «Осциллограф» и «Гармоники»

Эти два режима позволяют перейти от измерения действующих значений к анализу формы сигнала.

«Осциллограф» предоставляет возможность визуализировать реальную форму кривой тока и напряжения с настраиваемой разверткой от 10 до 1,25 мс/дел, что позволяет рассмотреть как несколько периодов сети, так

и один период в деталях. Это прямой инструмент для обнаружения несинусоидальных искажений: «срезанных» вершин синусоиды (клиппинга) при перегрузке ИБП, высокочастотных помех от частотных преобразователей, несимметрии полувольт.

Режим «Гармоники» дает исчерпывающую количественную оценку искажений: проводится спектральный анализ сигнала вплоть до 60-й гармоники. Данные отображаются в виде гистограммы или таблицы с указанием абсолютного значения и процентного содержания каждой гармоники. Важной является функция расчета двух типов суммарного коэффициента гармонических составляющих. Первый коэффициент рассчитывается по отношению к амплитуде первой (основной) гармоники — это классический параметр, используемый в большинстве стандартов. Второй коэффициент рассчитывается по отношению к полному действующему (RMS) значению сигнала, что является более современным подходом и дает более точное представление о степени искажения сигнала. Режим «Гармоники» — основной инструмент для оценки уровня гармонических искажений в сети, вызванных работой нелинейных нагрузок (частотно-регулируемых приводов, импульсных источников питания, сварочного оборудования).

Учет и аудит: режим «Счетчик»

В режиме «Счетчик» реализуется функция учета электрической энергии. Вольтамперфазометр ВФМ-4 производит интегрирование по времени активной и реактивной мощности, отображая накопленные значения активной энергии (E_p) в Вт·ч и реактивной энергии (E_q) в вар·ч. При использовании токоизмерительных клещей ВФМ-ДТ-10А-П и ВФМ-ДТ-100А-П с погрешностью 0,2% режим может использоваться для локального энергоаудита, проверки работы коммерческих счетчиков и оценки эффективности устройств компенсации реактивной мощности.

Долговременный мониторинг: режим «Самописец»

Этот режим решает проблему диагностики непериодических, «плавающих» неисправностей, которые невозможно зафиксировать кратковременным замером.

Период дискретизации задается в широких пределах: от 1 секунды для детального анализа до 4 часов для фиксации медленных трендов.

Продолжительность записи: один сеанс записи можно настроить на длительность до одной недели.

Объем памяти позволяет хранить несколько таких недельных сеансов (суммарно до трех недель записи с секундным интервалом) без необходимости промежуточной выгрузки данных на внешний носитель. Это позволяет вести накопление статистики за длительный период.

Пример использования: мониторинг профиля нагрузки. На рис. 2 представлена хронограмма распределения активной мощности по трем фазам, зарегистрированная вольтамперфазометром ВФМ-4 в режиме «Самописец». Метод продолжительной регистрации позволил выявить проблему, которую было сложно диагностировать кратковременными замерами: выраженную несимметрию активной мощности, возникающую при работе сезонного оборудования (системы обогрева кровли). Сформированная прибором хронограмма наглядно демонстрирует, что причиной несимметрии является систематическая и длительная перегрузка одной из фаз, возникающая исключительно в моменты работы системы обогрева кровли. Концентрация практически всей ее мощности на одной линии свидетельствует о некорректном схемотехническом решении. Таким образом, инструментальные данные, полученные ВФМ-4, служат достаточным техническим обоснованием для проведения работ по перераспределению нагрузки с целью обеспечения нормативных условий эксплуатации электроустановки.

Анализ динамики: режим

«Регистратор переходных процессов»

Специализированный режим для захвата быстропротекающих процессов с высоким временным разрешением (период регистрации — 10 мс, частота дискретизации — 24 кГц). Запись может быть инициирована вручную либо автоматически по триггеру при выходе любого из контролируемых параметров (U или I) за установленные пороговые значения (уставки). Основное применение — анализ пусковых токов электродвигателей, процессов коммутации в сети, а также фиксация



Рис. 2. Фиксация значений активной мощности по фазам в режиме «Самописец»

аварийных событий для последующего анализа работы устройств РЗА.

Опциональный режим РАС (регистрация аварийных событий)

Данный режим дополняет режим «Самописец». На протяжении всего периода регистрации режим РАС позволяет отследить кратковременные провалы, прерывания и перенапряжения в сети и предварительно оценить качество электроэнергии.

В зависимости от указанных допустимых и предельно допустимых границ можно будет сделать вывод о пригодности поставляемой электроэнергии. Обнаруженные выходы параметров за установленные границы (аварийные события) будут записаны с высокой частотой дискретизации в память прибора для последующего изучения. По завершении регистрации будет доступен отчет со следующими параметрами:

- ▶ отклонение частоты;
- ▶ медленные изменения напряжения;
- ▶ несимметрия напряжения;
- ▶ провалы напряжения;
- ▶ прерывания напряжения;
- ▶ перенапряжения.

Технологии для достоверности и удобства

Работа с прибором оптимизирована за счет ряда технологических решений.

Номенклатура датчиков тока. Универсальность прибора обеспечивается широким спектром поставляемых датчиков тока, охватывающих диапазоны от 1 мА до 1000 А.

Автоматическая идентификация датчиков тока. Каждый датчик тока содержит информацию о своих метрологических характеристиках и калибровочных коэффициентах. При подключении к прибору эти данные считываются автоматически, что исключает ошибки, связанные с неправильным выбором диапазона или вводом коэффициента трансформации вручную. Это также позволяет комбинировать датчики разных типов в одном измерении.

GPS-модуль. Встроенный приемник спутниковой навигации позволяет автоматически фиксировать географические координаты места проведения измерений. Эти данные сохраняются вместе с результатами, обеспечивая их точную и однозначную привязку к объекту. Такая функция критичес-

ки важна для сетевых компаний при проведении массовых обследований и формировании базы данных о состоянии оборудования.

Широкий спектр щупов для подключения ко входам напряжения. Магнитные щупы, щупы типа «прокол», удлиненные щупы типа «крокодил», щупы типа «пинцет» постоянно в наличии.

Готовые и индивидуальные конфигурации ВФМ-4

Конфигурации прибора ВФМ-4 сгруппированы по областям инженерного применения. Каждая конфигурация включает набор датчиков тока и аксессуаров, предназначенных для решения типовых задач в своей сфере.

Конфигурация «Релейщик»:

▶ *назначение* — работа во вторичных цепях, фазировка, анализ векторных диаграмм;

▶ *базовый комплект* включает четыре токоизмерительных датчика на ток до 40 А с погрешностью до 1%. Наличие четвертого датчика позволяет одновременно контролировать три фазы и ток в нейтрали ($3I_0$) или снимать параметры для проверки дифференциальных защит. В состав входят

магнитные щупы, которые фиксируются на клемниках, освобождая руки оператора, а также щтыревые щупы;

► версия «Про» дополнительно включает три прецизионных датчика на 10 А (погрешность до 0,2%). Обеспечивает измерение разности фаз при токе от 1 мА. Предназначена для пусконаладочных работ, требующих измерений с метрологической точностью, для калибровки и проверки уставок микропроцессорных терминалов.

Конфигурация «Энергосбыт»:

► назначение — инструментальные проверки узлов учета, анализ потребления, выявление потерь;

► базовый комплект включает три датчика на 40 А для оценки нагрузки на вводах. Магнитные щупы обеспечивают быструю и надежную фиксацию на клеммах, что важно при проведении массовых обследований;

► версия «Про» предназначена для углубленного анализа и арбитражных измерений. Включает три прецизионных датчика на 10 А (0,2%) для точной проверки приборов учета на малых нагрузках и три датчика на 100 А для работы на объектах с более высокой мощностью. В конфигурацию вклю-

чен режим регистратора аварийных событий.

Конфигурация «Предприятие»:

► назначение — комплексная диагностика электрооборудования промышленных объектов;

► базовый комплект обеспечивает диагностику сетей переменного тока. Состав датчиков — четыре на 40 А и три на 500 А — позволяет контролировать как цепи управления, так и силовые фидеры. Набор аксессуаров, включая удлиненные щупы типа «пинцет», обеспечивает подключение к различным типам промышленных клемм;

► версия «Про» является наиболее полной конфигурацией. Ключевое отличие — наличие датчика постоянного тока на 100 А, который предназначен для диагностики систем оперативного постоянного тока (СОПТ), источников бесперебойного питания (ИБП) и аккумуляторных батарей. В конфигурацию включен режим регистратора аварийных событий.

Также имеется возможность сконфигурировать индивидуальную комплектацию. Это означает, что заказчик не ограничен стандартными комплек-

тами и может составить собственный набор токоизмерительных клещей, полностью адаптированный под предметные задачи.

Заключение

Вольтамперфазометр ВФМ-4 — это не просто средство измерения, а инструмент для решения конкретных, зачастую дорогостоящих, производственных проблем. Благодаря режимам самописца, регистратора переходных процессов, регистратора аварийных событий и анализатора гармоник он выявляет скрытые и аperiodические неисправности, недоступные для выявления с использованием обычных вольтамперфазометров. В конечном счете, ВФМ-4 предоставляет инженеру не просто цифры, а готовые инструментальные доказательства для принятия взвешенных технических решений.

А. Г. Волович,
Д. А. Семёнов,

ООО «Челэнергоприбор», г. Челябинск,
тел.: +7 (351) 211-5401,
e-mail: info@limi.ru,
сайт: www.limi.ru

HI-TECH
2026
14–16 апреля
Международная выставка инноваций и конкурс научных разработок

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»
Петербургское шоссе, 64

РЕСТЭК

16+ РЕКЛАМА

hitech-expo.ru

НИ-ТЕСН

• Аддитивные технологии • Беспроводные технологии • Биотехнологии • Фармакология • Индустриальные информационные технологии • Наномедицина • Системы безопасности: биометрия, датчики, детекторы, электронные анализаторы • Развитие и подготовка инженерных кадров: методология обучения, разработка, венчурное финансирование

ОТ

ИННОВАЦИИ

К

Деловая программа:

- Санкт-Петербургский промышленный конгресс
- Биржа поставщиков

Производство • Финансирование разработок, венчурное финансирование

Информационные технологии • Наномедицина • Системы безопасности: биометрия, датчики, детекторы, электронные анализаторы • Развитие и подготовка инженерных кадров: методология обучения, разработка, венчурное финансирование

Биотехнологии • Фармакология • Индустриальные информационные технологии • Наномедицина • Системы безопасности: биометрия, датчики, детекторы, электронные анализаторы • Развитие и подготовка инженерных кадров: методология обучения, разработка, венчурное финансирование