

ПРИМЕНЕНИЕ USB-ОСЦИЛЛОГРАФОВ PicoScope В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА МАГИСТРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ

А.Черви¹, А.Ронкарати², М.Меллони³

УДК 621.317.75
ВАК 05.11.00

Переходные процессы в высоковольтных кабелях могут вызывать проблемы в высокочастотных каналах связи, особенно когда они совмещены с воздушными линиями электропередачи. По этой причине итальянская компания Techimp по заказу нидерландской TenneT разработала систему мониторинга электросети PCMONS для высоковольтной магистрали между Нидерландами и Великобританией (проект Randstad 380 kV Noordring). Ключевым элементом системы PCMONS – USB-осциллографы PicoScope от компании Pico Technology (Великобритания), которые поставляются в Россию под торговой маркой АКИП. Приборы отличаются высокими характеристиками, надежностью и разумной ценой. Удобное программное обеспечение осциллографов позволяет интегрировать их в общую систему. Рассмотрим особенности применения этих приборов в системе PCMONS.

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ

Система непрерывного мониторинга Power Connection Monitoring System (PCMONS) позволяет регистрировать переходные процессы в сети при наступлении определенных условий (превышении заданного порогового уровня напряжения или тока). Возможность одновременной регистрации в системе целого ряда параметров (с разрешением по времени в 100 нс) позволяет определить взаимосвязь переходных процессов в силовых линиях с событиями, параллельно происходящими в системах связи (ВЧ-каналах). Основные назначения системы регистрации – сбор информации о процессах в объединенной системе каналов связи и воздушных линиях электропередачи, а также подтверждение математической модели переходного режима. Кроме того, PCMONS позволяет определить возможный показатель деградации системы (остаточный ресурс) вследствие

протекающих в ней переходных процессов. Общая протяженность высоковольтных линий на севере Нидерландов, где установлена система регистрации, превышает 40 км. Измерительная сеть разделена на восемь блоков, охватывая при этом 13 участков и четыре подстанции.

PCMONS состоит из датчиков, подключенных к оборудованию специальных металлических шкафов, в которых установлены усилители, USB-осциллографы PicoScope, регистрирующие переходные процессы и параметры сети, а также модули синхронизации и управления запуском. Данные шкафы посредством волоконно-оптического кабеля соединены с серверами (по одному на каждый блок). На серверах данные сортируются, накапливаются, а затем передаются на центральный сервер, где полученная информация хранится для последующего анализа с помощью человеко-машинного интерфейса (HMI), разработанного на базе TiSCADA – собственного ПО компании Techimp. Система PCMONS отвечает за сбор, обработку, архивирование и представление информации о процессах в линиях электропередачи, при этом у пользователя есть доступ ко всему

¹ Компания Techimp, менеджер проекта.

² Компания Techimp, менеджер по продажам.

³ Компания Techimp, менеджер проекта/инженер по эксплуатации.

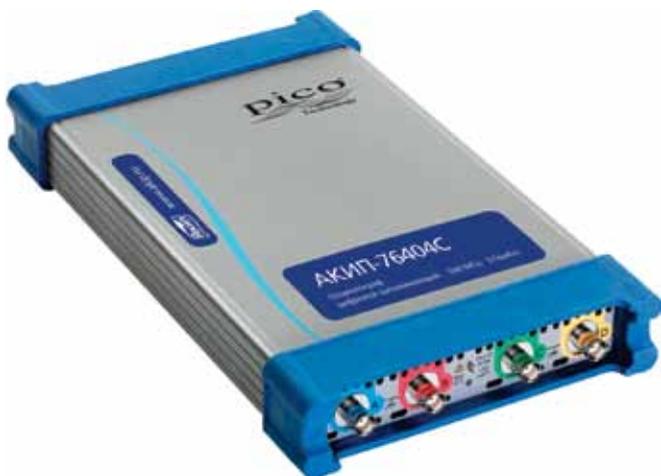


Рис.1. USB-осциллограф АКІП-76404С



Рис.2. USB-осциллограф АКІП-74824

функционалу системы. Такой способ регистрации позволяет получать кривые непрерывного и импульсного напряжения и тока, а также формы частичных разрядов непосредственно из памяти локальных серверов.

Каждый измерительный вход системы имеет регулируемый пороговый уровень, превышение которого инициирует начало записи. Таким образом, событие, зарегистрированное одним из датчиков, запускает внутри соответствующего шкафа процесс измерений целого ряда параметров сети. Каждый вход имеет собственную систему синхронизации и запуска по уровню, который регулируется от нулевого до максимального значения

и устанавливается как в программном обеспечении НМІ, так и с помощью дистанционного управления. Длительность записи данных после срабатывания системы синхронизации зависит от частоты: сигналы частотой ниже 1 МГц фиксируются в течение 1 с сразу после запуска системы, а сигналы частотой выше 1 МГц – в течение 20 мс.

ОПИСАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОНИТОРИНГА

В системе мониторинга используются две модели USB-осциллографов PicoScore:

- PicoScore 6404C (АКІП-76404С) – три 500-МГц канала для записи данных и канал для синхронизации (рис.1);

Основные характеристики АКІП-76404С

- **Осциллограф:** четыре канала;
- полоса пропускания 500 МГц;
- максимальная частота дискретизации 5 ГГц (при объединении каналов), эквивалентная 50 ГГц;
- максимальный объем памяти 1 Гбайт;
- сегментированная память 10 000 осциллограмм во внутренней буфер, цифровая растяжка / Zoom (x100 000 000);
- цифровые фильтры (аналоговые и цифровые) в полной полосе пропускания (с шагом настройки 1 Гц);
- цифровая регистрация на ПК (streaming mode): дискретизация 10 МГц, память 100 Мбайт (объем управляющего ПО), при использовании ресурсов SDK максимальный объем определяется системными параметрами ПК;
- **функциональный генератор** (до 20 МГц/4 В п-п): синус, меандр, треугольник, постоянное напряжение/постоянный ток. Для моделей с индексом D дополнительно: пила (нарастание/спад),

Sin X/x, колоколообразный, белый шум, ПСП/PRBS (одновременно с осциллографом);

- **анализатор спектра:** в полной полосе пропускания (одновременно с осциллографом), БПФ при длине памяти до 1 Мбайт;
- автоизмерения (15 параметров); курсорные измерения (ΔU; ΔT; 1/ΔT);
- математика: 30 функций (четыре оператора - вх. кан./опорн.осцилл./время/число π);
- **декодирование сигналов:** CAN, LIN, FlexRay, I²C, I²S, UART/RS-232, SPI;
- допусковый контроль (тест по маске);
- интерфейс USB3.0, ПО под управлением ОС Win XP, Vista, Win 7, Win 8 (кроме RT), Win 10, Mac OS X и Linux (32/64 бит);
- вход внешней опорной частоты/Ref Clk IN (активация ресурсами SDK);
- питание от сетевого адаптера 12 В/4 А;
- масса 1,3 кг;
- гарантия 5 лет.

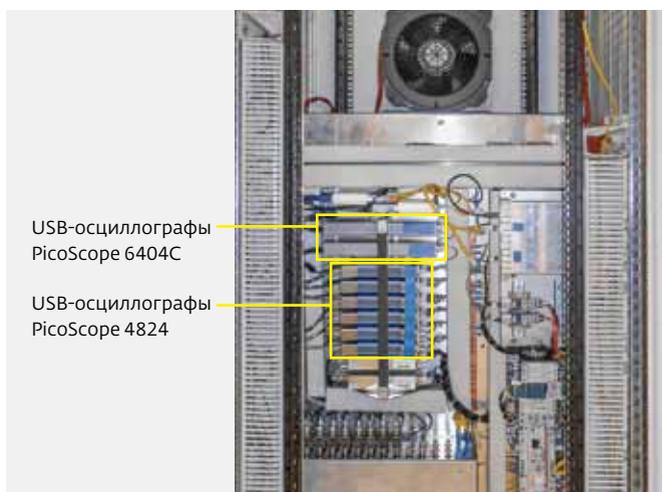


Рис.3. Внутреннее оснащение шкафа системы мониторинга (выделены осциллографы PicoScope 4824 и PicoScope 6404C)

- PicoScope 4824 (АКИП-74824) – семь 1-МГц каналов для записи данных и канал для синхронизации (рис.2). Внутреннее оснащение шкафа системы мониторинга показано на рис.3.
- Осциллографы PicoScope – идеальное решение, сочетающее в себе компактность, точность и высокую пропускную способность с удобством в эксплуатации. Такие же модели осциллографов, установленные в 2013 году на аналогичную систему, продемонстрировали высокую

стабильность при измерении параметров повторяющихся событий.

С помощью осциллографов PicoScope 6404C и PicoScope 4824 в системе PCMONS измеряются следующие параметры.

- **Переходные процессы фазного напряжения** (0–693 кВ; DC – 1 МГц; осциллограф PicoScope 4824). Измерение напряжения на подстанции выполняется с помощью резистивно-емкостного делителя напряжения. Захват и запись сигнала с высокой частотой дискретизации происходит только при срабатывании системы синхронизации.
- **Колебания фазного напряжения** (0–693 кВ; DC – 10 кГц; осциллограф PicoScope 4824). Программно-аппаратное суммирование производится для представления уровня напряжения конкретной линии. Напряжение регистрируется непрерывно с низкой частотой дискретизации, в итоге на выходе формируется среднеквадратичное значение этого параметра в течение определенного периода времени.
- **Измерение тока каждой фазы** (0–4 кА; 0,2 Гц – 2 кГц; осциллограф PicoScope 4824). Ток измеряется на подстанции с помощью высоковольтных трансформаторов тока. Захват и запись сигнала с высокой частотой дискретизации происходит непосредственно при срабатывании системы синхронизации.
- **Измерение колебаний тока в воздушной линии** (0–4 кА; 0,2 Гц – 2 кГц; осциллограф PicoScope 4824). Программно-аппаратное суммирование различных

Основные характеристики АКИП-74824

- **Осциллограф:** восемь каналов;
- полоса пропускания 20 МГц;
- разрешение АЦП: 12 бит (до 16 бит в режиме ERES);
- максимальная частота дискретизации: 80 МГц (для однократного сигнала при использовании 1–4 каналов);
- максимальный объем памяти 256 Мбайт делится между активными каналами;
- сегментированная память 10 000 осциллограмм (во внутренний буфер), цифровая растяжка/Zoom (x6500);
- НЧ-фильтр в полной полосе пропускания;
- цифровая регистрация на ПК (streaming mode): дискретизация 10 МГц, при использовании ресурсов SDK дискретизация и длина файла определяются системными параметрами ПК (дискретизация может достигать 160 МГц);
- **функциональный генератор** (до 1 МГц/±2 В): синус, меандр, треугольник, постоянное напряжение, пила (нарастание/спад), Sin X/x, колоколообразный, белый шум, ПСП/PRBS (одновременно с осциллографом);
- **генератор сигналов СПФ** до 1 МГц/ ±2 В): ЦАП 14 бит, частота дискретизации до 80 МГц, память до 16 Кбайт;
- **анализатор спектра:** в полной полосе пропускания (одновременно с осциллографом), БПФ при длине памяти до 1 Мбайт;
- автоизмерения (15 параметров); курсорные измерения (ΔU ; ΔT ; $1/\Delta T$);
- математика: 30 функций (четыре оператора – вх. кан./опорн.осцилл./время/ число π);
- декодирование сигналов: CAN, LIN, FlexRay, I²C, I²S, UART/RS-232, SPI;
- допусковый контроль (тест по маске);
- интерфейс USB3.0, ПО под управлением ОС Win XP, Vista, Win 7, Win 8 (кроме RT), Win 10, Mac OS X и Linux (32/64 бит);
- гарантия 5 лет.

входных и выходных токов шины выполняется для представления силы тока определенной линии электропередачи. Колебания регистрируются непрерывно с низкой частотой дискретизации.

- **Измерение тока в каждом кабеле** (0–22 кА; 0,2 Гц – 1 МГц; осциллограф PicoScope 4824). Измерения производятся с помощью петли Rogowski, установленной на каждый кабель у концевой кабельной заделки. Ток регистрируется с высокой частотой дискретизации непосредственно при срабатывании системы синхронизации.
- **Измерение тока в экране кабеля** (0–22 кА, 0,2 Гц – 1 МГц; осциллограф PicoScope 4824). Ток в экране кабеля протекает по внешней обмотке. Измерения проводятся с помощью петли Rogowski, которая охватывает заземляющий провод, подключенный к экранирующей обмотке кабеля. Запись сигнала с высокой частотой дискретизации начинается непосредственно при срабатывании системы синхронизации.
- **Измерение колебаний тока в каждом кабеле** (0–2 кА; 0,2 Гц – 2 кГц; осциллограф PicoScope 4824). Значения силы тока регистрируются с низкой частотой дискретизации непрерывно. Результат представляется в виде среднеквадратичных значений силы тока за определенный период времени.
- **Измерение частичных разрядов в концевых заделках** (0–1000 пКл, 500 МГц; осциллограф PicoScope 6404C). Частичные разряды в концевых кабельных заделках измеряются при помощи встроенных в них датчиков.
- **Измерение тока разрядника** (120 кА; 1–5 Гц; осциллограф PicoScope 4824). Ток, проходящий от разрядника через электрод заземления, замеряется при помощи петли Rogowski, установленной на заземляющий проводник каждого разрядника. Запись сигнала с высокой частотой дискретизации начинается непосредственно при срабатывании системы синхронизации.
- **Измерение токов утечки разрядника** (12 мА; 0,1–650 Гц; осциллограф PicoScope 4824). Ток утечки разрядника проходит по цепи заземления и замеряется при помощи петли Rogowski, установленной на заземляющий проводник каждого такого разрядника. Запись сигнала с высокой частотой дискретизации начинается при срабатывании системы синхронизации.

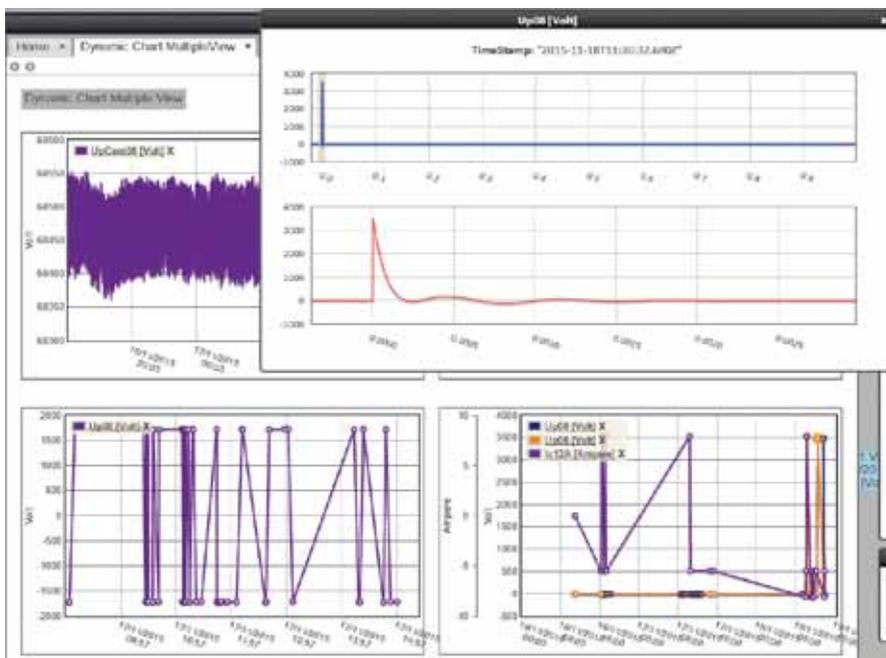


Рис.4. Отображение форм сигналов с помощью ПО на базе системы TiSCADA от Techimp

- **Измерение напряжения в точке заземления экранирующего кабеля** (DC – 10 кВ, DC – 1 МГц; осциллограф PicoScope 4824). Измерение проводится при помощи резистивно-емкостного делителя напряжения, расположенного внутри бокса заземления экрана в месте соединения кабеля. Запись сигнала с высокой частотой дискретизации начинается при срабатывании системы синхронизации.
 - **Измерение тока в точке заземления экрана** (0–22 кА, 0,2 Гц – 1 МГц; осциллограф PicoScope 4824). Измерение проводится при помощи петли Rogowski, установленной в местах соединения кабеля. Запись сигнала с высокой частотой дискретизации начинается при срабатывании системы синхронизации.
 - **Измерение частичных разрядов на высоковольтных соединениях** (0–1000 пКл; 500 МГц; осциллограф PicoScope 6404C). Измерение проводится при помощи датчиков, встроенных в кабельные соединения.
- С помощью ПО на базе системы TiSCADA от Techimp пользователь системы мониторинга получает доступ к системе, всем осциллограммам и списку событий на любом участке (рис.4). Осциллограммы отображаются в виде последовательности произошедших во времени событий. Каждое такое событие описывается временем и значением амплитуды сигнала в этот момент времени, так что визуально набор событий отображается в виде графика. Для отображения интересующего события нужно на схематической карте выбрать соответствующий измерительный блок, а затем участок на диаграмме. ●