



СИНТЕЗ ОНЛАЙН ПОТОКОВ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ СВИ

Попов А.И., Бутин К.П., Буторин Р.М. Родионов А.В.

a.popov@ens.ru

ООО «Инженерный центр «Энергосервис», Архангельск

Введение

- С развитием и распространением технологии СВИ повышается роль **вычислительной обработки** цифровых измерительных данных в управлении энергосистемами.
- Вопросы надёжности программных решений для анализа данных СВИ следует рассматривать в контексте **сложных информационно-измерительных систем**.
 - Тестирование таких решений выходит за рамки проверки **методов анализа**.
 - Необходимо учитывать множество дополнительных **факторов**: состояние источников данных, качество измерений, особенности реализации алгоритмов, устойчивость вычислительных процедур к проблемам в данных, производительность вычислений, согласованность конфигураций компонентов системы, взаимодействие между различными программными модулями, особенности и ограничения платформы исполнения приложений и др.

Настоящая работа проводится в целях **совершенствования** методического и инструментального обеспечения **тестирования** систем анализа данных СВИ.

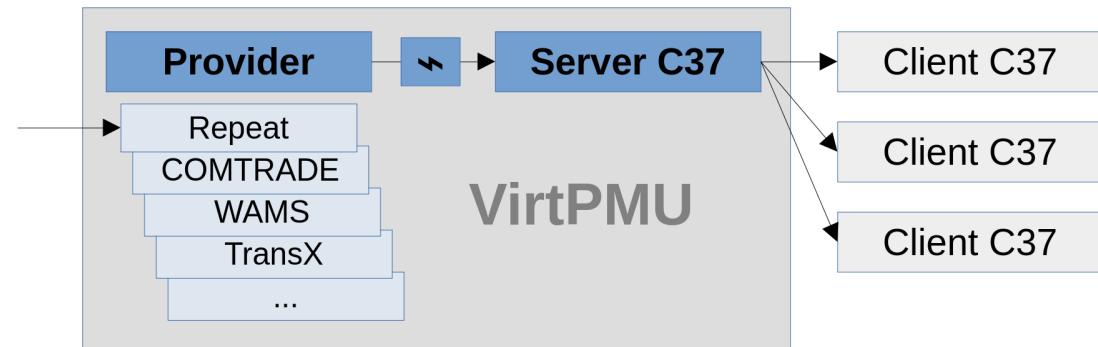
Подходы к получению тестовых данных

- **Реальные** данные
 - Натурный стенд
 - Архивная запись
- **Синтетические** данные
 - Математическое моделирование
 - Симуляция
 - Генеративные нейронные сети

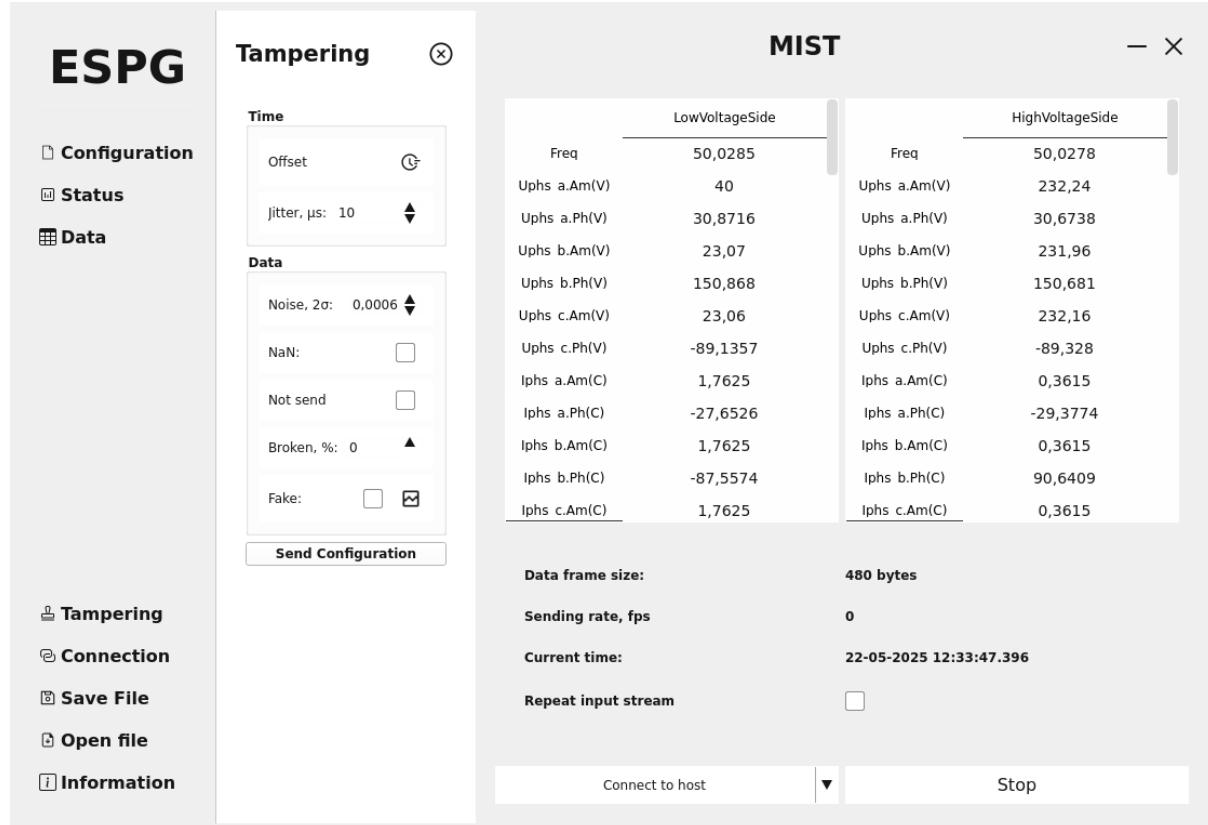
Моделирование **выходных данных** УСВИ позволяет выйти за рамки физических ограничений и получить сценарии, которые маловероятны при реальной эксплуатации, но способны выявить скрытые проблемы.

Программный комплекс VirtPMU

- **vrtmu-repeat** - ретрансляция и разветвление входящего потока.
- **vrtmu-comtrade** - воспроизведение архивных записей КСВД.
- **vrtmu-wams** - генерация данных на основе математического описания выходных сигналов УСВИ.
- **vrtmu-transX** - синтез данных в соответствии с мат. моделями трансформаторов разного типа.



ESPG (ES Phasor Generator)



The screenshot shows the ESPG software interface. On the left, a sidebar menu lists: Configuration, Status, Data, Tampering, Connection, Save File, Open file, and Information. The main window has two tabs: 'Tampering' (selected) and 'MIST'. The 'Tampering' tab contains sections for 'Time' (Offset: 0, Jitter: 10 µs) and 'Data' (Noise: 0.0006, NaN: checked, Not send: checked, Broken: 0%, Fake: checked). A 'Send Configuration' button is at the bottom. The 'MIST' tab displays a table of phasor data for three phases (a, b, c) on both LowVoltageSide and HighVoltageSide. The table includes columns for Frequency (Freq), Amplitude (Am), and Phase (Ph). The 'MIST' tab also shows configuration parameters: Data frame size (480 bytes), Sending rate (0 fps), Current time (22-05-2025 12:33:47.396), and a 'Repeat input stream' checkbox. At the bottom are 'Connect to host' and 'Stop' buttons.

Графический интерфейс обеспечивает возможность свободно изменять элементы конфигурации и данных. Это увеличивает вариативность тестов и приближает тестирование к **стохастическому**.

Манипуляции с данными:

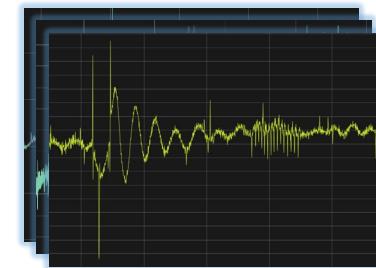
- **Смещение и дребезг метки времени**
- **Добавление шума**
- **Отправка пустых кадров**
- **Приостановка отправки данных**
- **Случайные искажения кадров**
- **Отправка кадров данных, не соответствующих конфигурации**

Примеры тестовых схем

МИСТ – модуль индикации состояния трансформатора



ES Phasor – программная система для анализа потоков данных СМПР



Имитация НЧК

Значение в канале

$$x(t) = m + \sum_{i=1}^N k_i L_{p,i}(t - \tau_i) s_i(t) + \eta(t)$$

- m – математическое ожидание
- $L_{p,i}(t)$ – НЧК
- k_i, τ_i – параметры проявления НЧК
- $s_i(t)$ – функция возникновения НЧК
- $\eta(t)$ – шум

$$s(t) = \max(\sin(2\pi f_s t + h \sin(2\pi f_s t + H \sin(2\pi f_s t))), 0)$$



Параметры НЧК

$$p = (a_L, f_L, a_a, f_a, a_f, f_f)$$

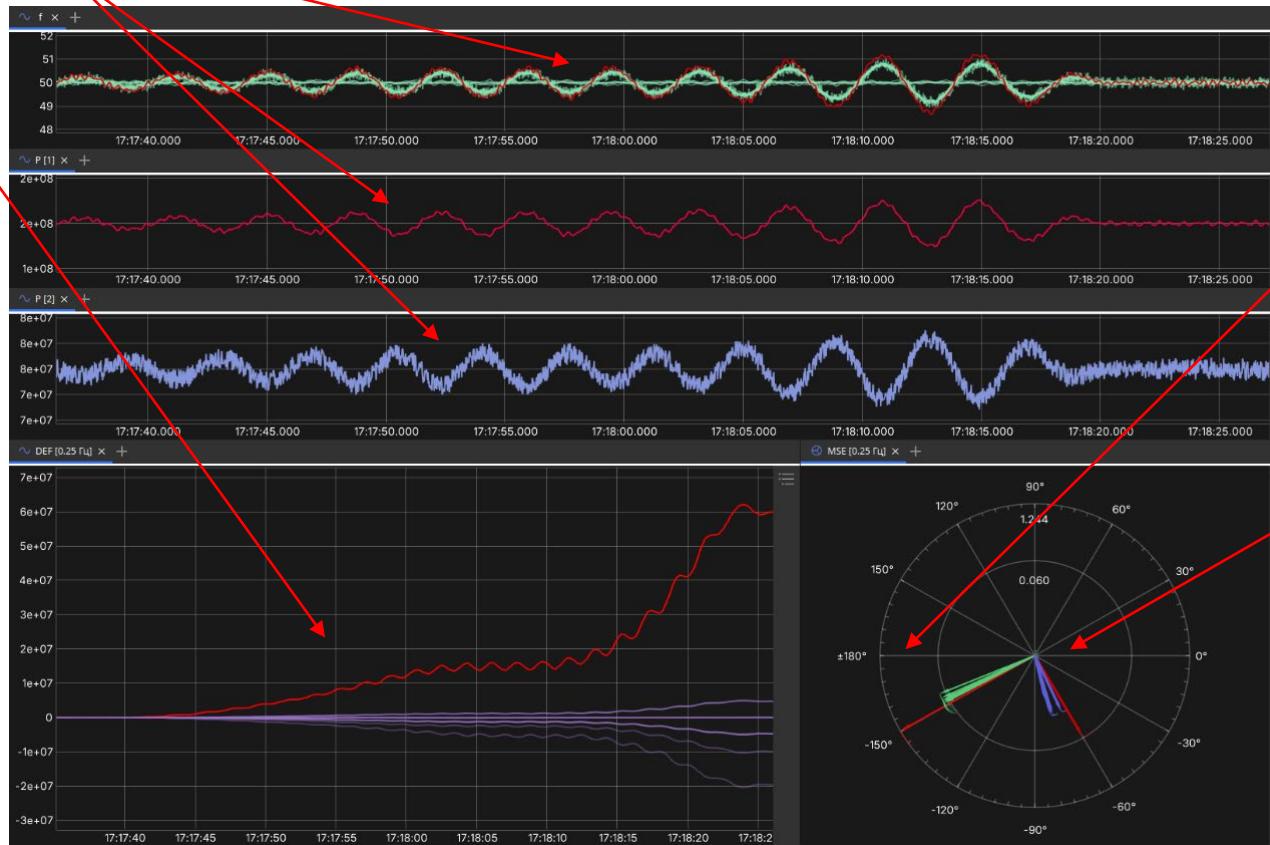
- a_L, f_L – амплитуда и частота НЧК
- a_a, f_a – параметры модуляции амплитуды
- a_f, f_f – параметры модуляции частоты

НЧК – модулированный гармонический сигнал:

$$L_p(t) = [a_L + a_a \cos(\omega_a t)] \left[\cos\left(\omega_L t + \frac{a_f}{\omega_f} \sin(\omega_f t)\right) \right]$$
$$\omega_L = 2\pi f_L, \omega_a = 2\pi f_a, \omega_f = 2\pi f_f$$

Имитация НЧК

$$W_{kn}^D = 2\pi \int \Delta P_{kn} \Delta f_k dt + \int \frac{\Delta Q_{kn}}{\tilde{U}_k + \Delta U_k} d\Delta U_k \quad (\text{DEF})$$



MSE по $\angle U$

MSE по $\angle I$

Имитация потока событий

Модель трансформатора

$$(\dot{U}_i(t), \dot{I}_i(t), f_i(t)) = M_{p,L,\eta}(t)$$

- p – паспортные данные и параметры сети
- L – параметры нагрузки
- η – параметры шума
- \dot{U}, \dot{I} – синхровекторы напряжения и тока
- f – частота
- i – номер обмотки ($i \in \{1, 2\}$ или $i \in \{1, 2, 3\}$)

Поток событий

$f, |\dot{U}|, |\dot{I}|$ умножаются на коэффициенты:

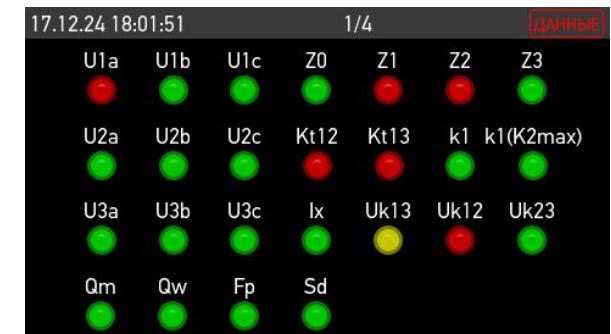
$$c(t) = \begin{cases} \rho_1, \tau_0 \leq t < \tau_1 \\ \rho_2, \tau_1 \leq t < \tau_2 \\ \dots \\ \rho_n, \tau_{n-1} \leq t < \tau_n \\ \dots \end{cases},$$

- ρ_i – normally распределённые случайные величины с $\mu = 1$ и σ , задаваемым в конфигурации VirtPMU.
- $\tau_0 = 0, \tau_n = \tau_{n-1} + \lambda_n$, где λ_n – случайная величина с задаваемыми параметрами распределения.

Имитация потока событий



Комбинации изменений сигналов вызывают условия выявления событий и аномалий в данных и интенсивную работу модулей фиксации событий в БД, ведения аварийного архива, сигнализации и др.



Заключение

- При **системном тестировании** ПО используются только его внешние интерфейсы. При анализе данных СВИ таким интерфейсом является стандартизованный протокол передачи измерений.
- ПО **VirtPMU/ESPG** развивает и объединяет различные способы получения тестовых данных и обеспечивает гибкое преобразование тестовых потоков, позволяя создавать различные схемы и сценарии тестирования систем анализа данных СВИ разного масштаба.
- Представленный инструментарий продемонстрировал свою **эффективность** при тестировании ряда систем анализа данных СВИ, разрабатываемых в ООО «Инженерный центр «Энергосервис».

Спасибо за внимание!

a.popov@ens.ru