

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.

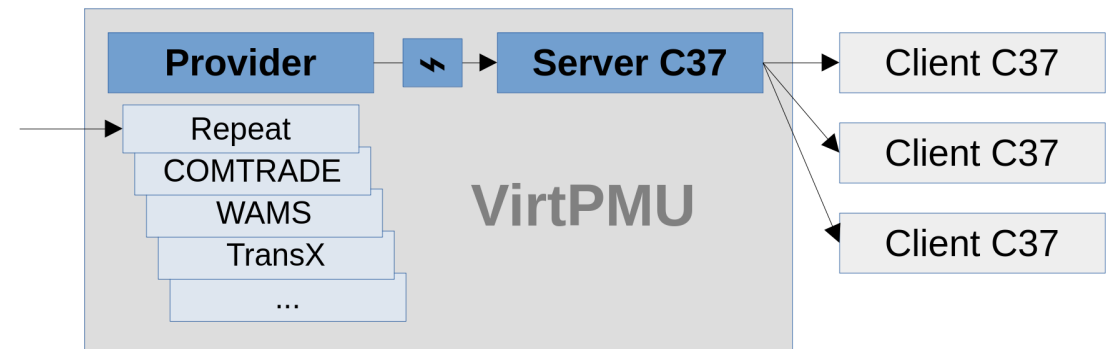
Подходы к получению тестовых данных

- **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

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



ESPG (ES Phasor Generator)

The screenshot displays the ESGP (ES Phasor Generator) interface. On the left is a sidebar with navigation links: Configuration, Status, Data, Tampering, Connection, Save File, Open file, and Information. The main area is divided into two panels. The left panel, titled 'Tampering', contains settings for Time (Offset, Jitter) and Data (Noise, NaN, Not send, Broken, Fake). The right panel, titled 'MIST', shows two tables for LowVoltageSide and HighVoltageSide, each with columns for Freq, Uphas, and Iphas. Below the tables are fields for Data frame size, Sending rate, Current time, and Repeat input stream. At the bottom are buttons for 'Connect to host' and 'Stop'.

ESPG

Configuration
Status
Data

Tampering

Time

Offset

Jitter, μ s: 10

Data

Noise, 2σ : 0.0006

NaN: ☐

Not send: ☐

Broken, %: 0

Fake: ☐ ☒

Send Configuration

MIST

	LowVoltageSide		HighVoltageSide
Freq	50,0285	Freq	50,0278
Uphs a.Am(V)	40	Uphs a.Am(V)	232,24
Uphs a.Ph(V)	30,8716	Uphs a.Ph(V)	30,6738
Uphs b.Am(V)	23,07	Uphs b.Am(V)	231,96
Uphs b.Ph(V)	150,868	Uphs b.Ph(V)	150,681
Uphs c.Am(V)	23,06	Uphs c.Am(V)	232,16
Uphs c.Ph(V)	-89,1357	Uphs c.Ph(V)	-89,328
Iphs a.Am(C)	1,7625	Iphs a.Am(C)	0,3615
Iphs a.Ph(C)	-27,6526	Iphs a.Ph(C)	-29,3774
Iphs b.Am(C)	1,7625	Iphs b.Am(C)	0,3615
Iphs b.Ph(C)	-87,5574	Iphs b.Ph(C)	90,6409
Iphs c.Am(C)	1,7625	Iphs c.Am(C)	0,3615

Data frame size: 480 bytes

Sending rate, fps: 0

Current time: 22-05-2025 12:33:47.396

Repeat input stream: ☐

Connect to host

Stop

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

Манипуляции с данными:

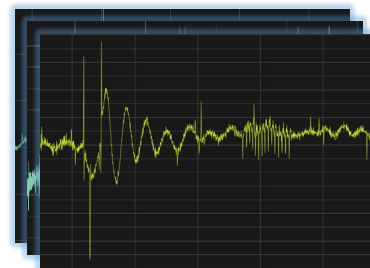
- **Смещение и дребезг** метки времени
- Добавление **шума**
- Отправка **пустых** кадров
- **Приостановка** отправки данных
- Случайные **искажения** кадров
- Отправка кадров данных, не соответствующих **конфигурации**

Примеры тестовых схем

МИСТ – модуль индикации состояния трансформатора



ES Phasor – программная система для анализа потоков данных СМГР



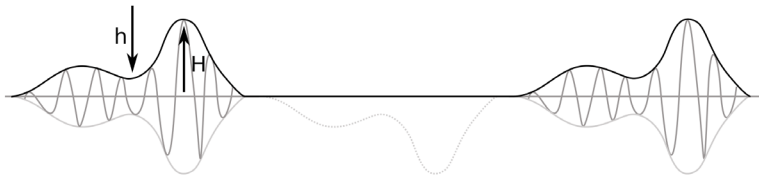
Имитация НЧК

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

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

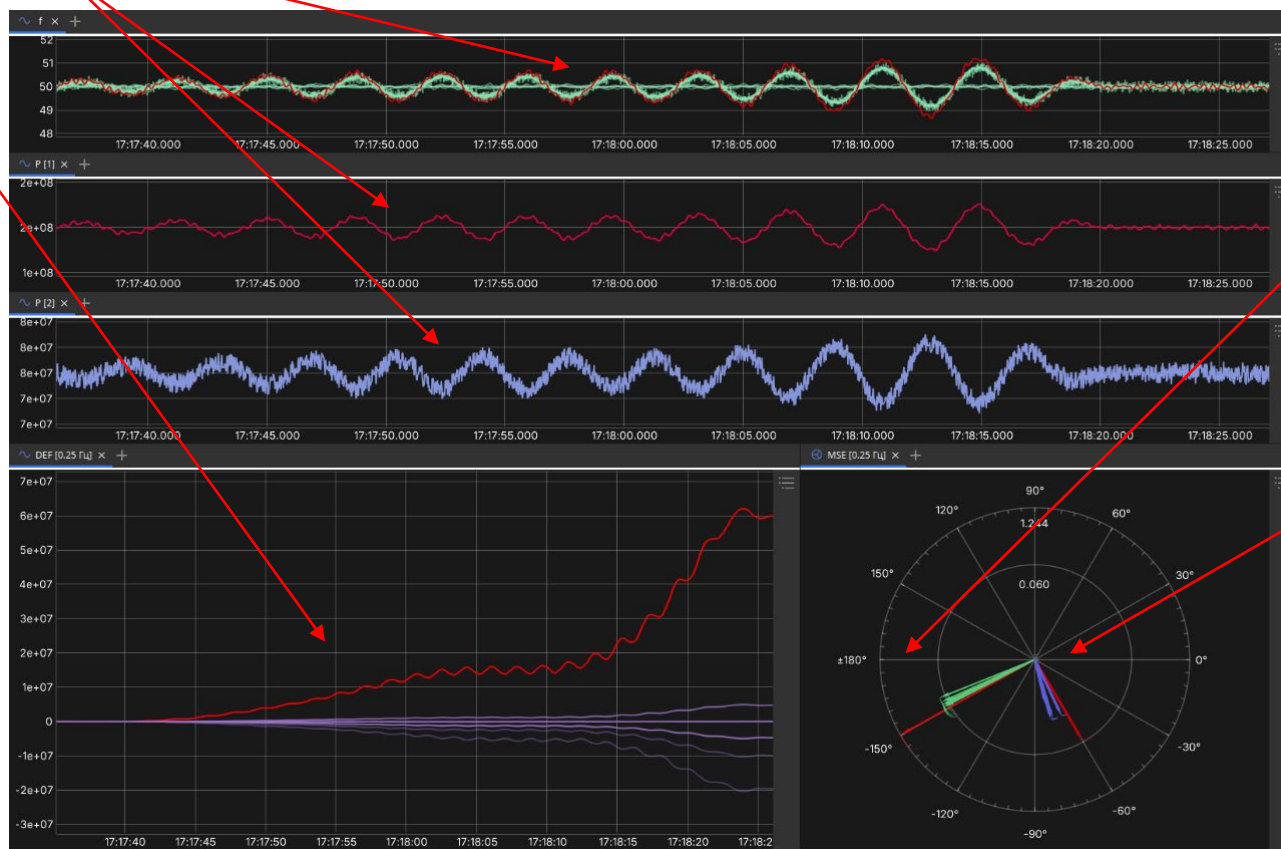
- a_L, f_L – амплитуда и частота НЧК
- a_a, f_a – параметры модуляции амплитуды
- a_f, f_f – параметры модуляции частоты

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 – нормально 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.

17.12.24 18:01:51				1/4				ДАННЫЕ
U1a	U1b	U1c	Z0	Z1	Z2	Z3		
U2a	U2b	U2c	Kt12	Kt13	k1	k1(K2max)		
U3a	U3b	U3c	Ix	Uk13	Uk12	Uk23		
Qm	Qw	Fp	Sd					

Заключение

- При **системном тестировании** ПО используются только его внешние интерфейсы. При анализе данных СВИ таким интерфейсом является стандартизированный 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