

АНАЛИЗ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ И БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ

Попов А.И.¹, Бутин К.П.^{1 2}, Родионов А.В.¹

1) ООО «Инженерный центр «Энергосервис», Архангельск

2) Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск

Введение

- Усложнение энергосистем, повышение их наблюдаемости благодаря СМПР и СВИ, а также интенсивное применение вычислительной обработки массивов измерительных данных стали важными факторами современного этапа развития **методологии анализа**.
- К одному из главных применений данных СМПР относится анализ колебательной устойчивости энергосистемы, включающий поиск источника **низкочастотных колебаний (НЧК)**.
- Наряду с разработкой новых подходов к моделированию процессов и получаемых измерительных сигналов, выделилась группа **методов, основанных на данных**.
- В ряде исследований анализ данных СВИ в масштабе крупных энергосистем рассматривается как **проблема больших данных**.

Большие данные СВИ

«Широкий набор технологий, включающих системы хранения и обработки огромных массивов структурированных и неструктурированных данных разнообразного состава, часто обновляемых и поступающих из различных источников» (bigenc.ru)

Составляющие: **объём**, скорость **прироста** и **разнообразие** данных.

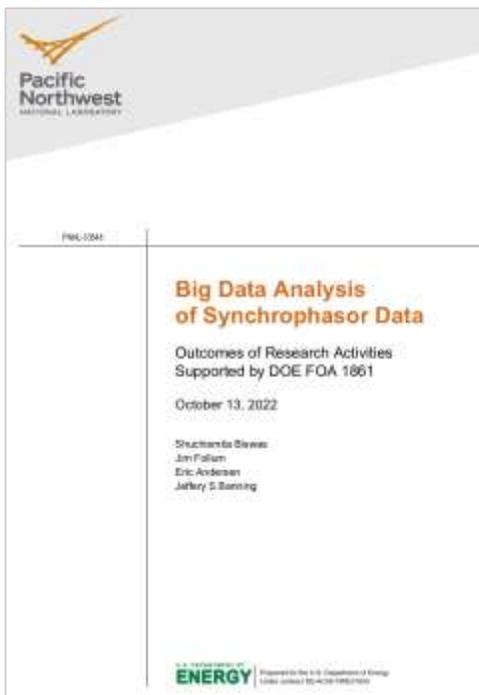
Проблема аномальных данных СВИ, использование СВИ вместе с другими измерительными технологиями и др.

Привлечение методов больших данных к анализу измерительной информации СМПР приносит положительные результаты.

DOE FOA 1861 (2022)

Применение **методов больших данных** для поиска и классификации событий в архивах СВИ.

8 проектов, 60 публикаций, 25 Тбайт данных.

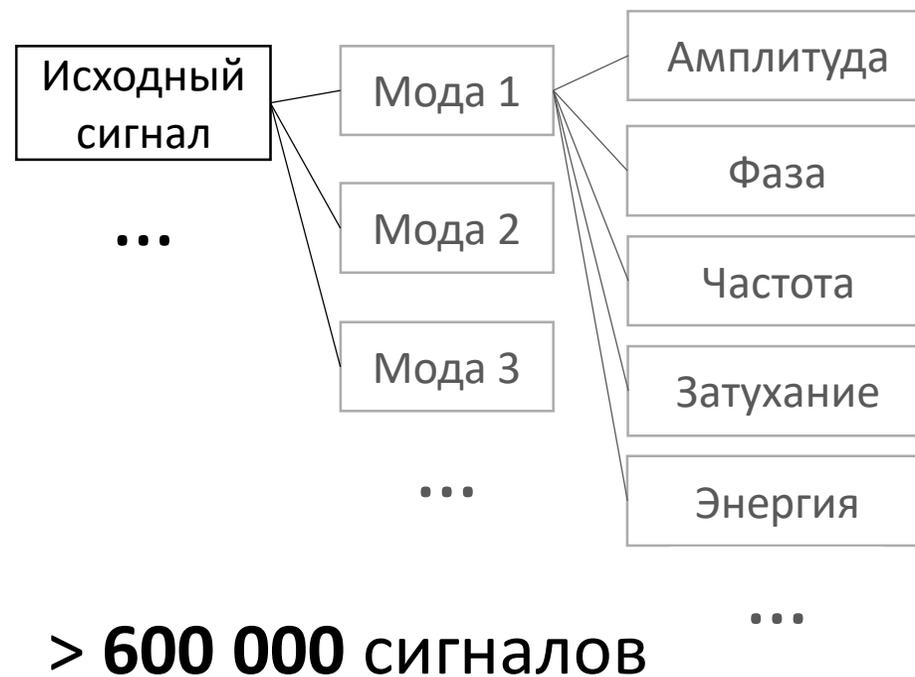


- **Хранение данных** и организация **эффективного доступа** к ним.
- Выявление нарушений **качества данных**: сбои оборудования, шум квантования, несогласованность единиц измерения, дрожание меток времени, использование устаревших значений, неактуальность битов состояния и др.
- **Восстановление данных**: интерполяция кратковременных пропусков, использование данных соседних устройств.
- **Обнаружение и классификация событий**, разметка, формирование сигнатур, использование симуляционного моделирования. *При поиске колебаний методы машинного обучения уступают методам ЦОС.*
- **Визуализация**: представление больших временных рядов. *Визуализация находится на первом месте среди главных направлений предстоящей работы.*

Данные в анализе НЧК

Общая схема вычислений: извлечение колебательных составляющих (мод) из входных измерительных сигналов → вычисление **динамических параметров** НЧК → принятие решения об участии и роли объектов энергосистемы в развитии колебательного процесса.

Величины	Объём данных		
	Кадр (1 УСВИ)	Секунда (СМПР)	Сутки (СМПР)
Синхровекторы тока и напряжения	16 байт	780 Кбайт	64 Гбайт
Частота, активная и реактивная мощности	12 байт	585 Кбайт	48 Гбайт
Параметры колебаний в 20 полосах	3360 байт	160 Мбайт	13.2 Тбайт



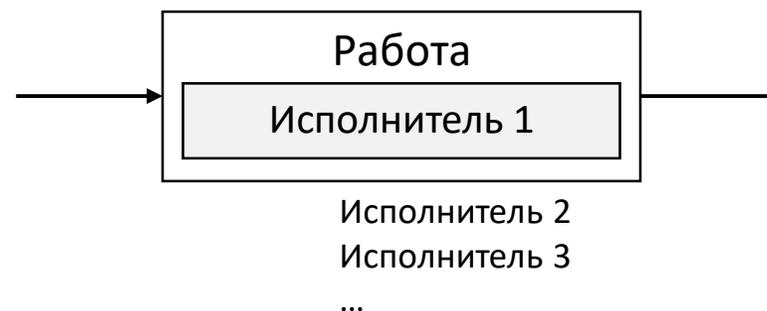
Вычислительные схемы

Вычисление параметров НЧК укладывается в некоторые **общие схемы**, однако реализации этапов обработки образуют постоянно расширяющееся множество.

Результаты поиска источника НЧК зависят от **комбинации** алгоритмов и их параметров.

«**План**» – ориентированный граф, вершины которого соответствуют работам (этапам вычислений), а дуги – потокам данных. Исполнитель работы – ссылка на конкретную реализацию алгоритма обработки данных.

Конфигурация плана фиксируется, например, в формате JSON, что обеспечивает повторяемость результата при повторных вычислениях.



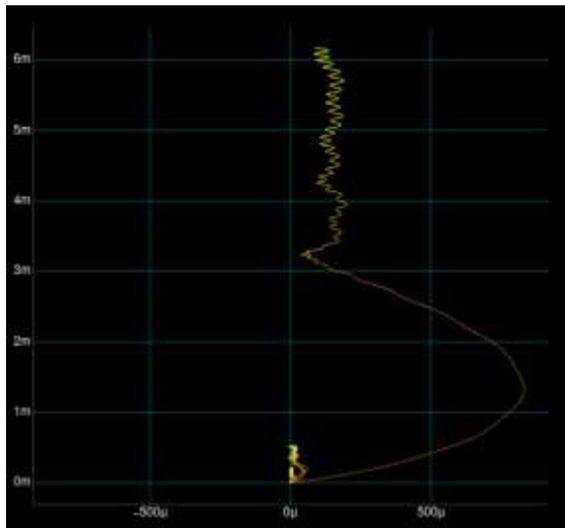
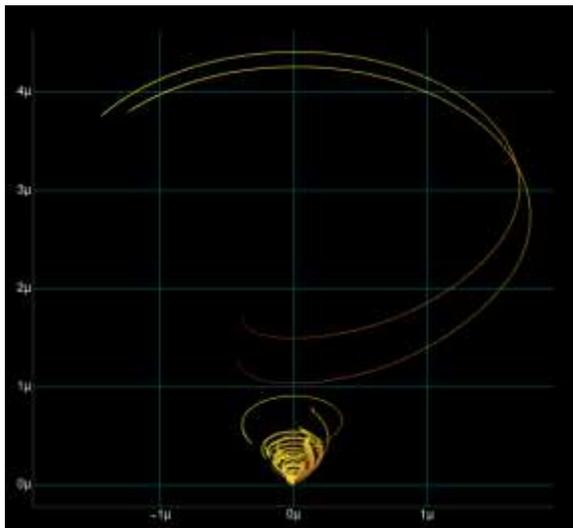
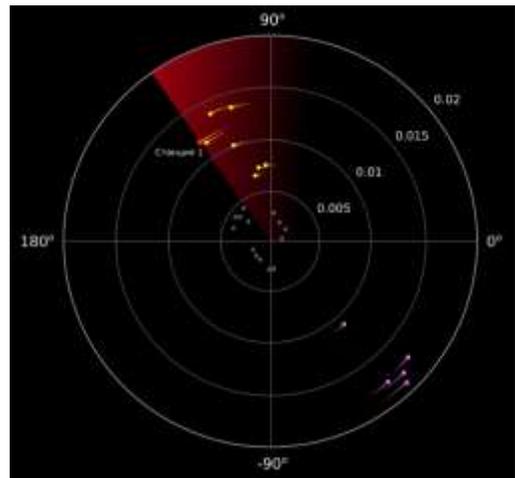
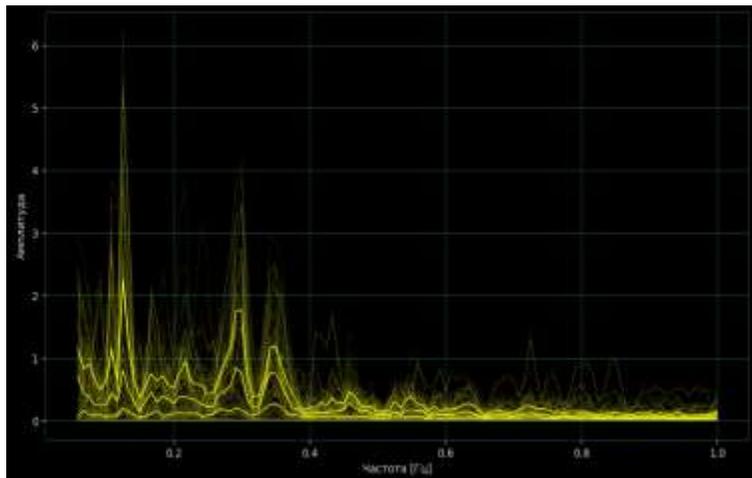
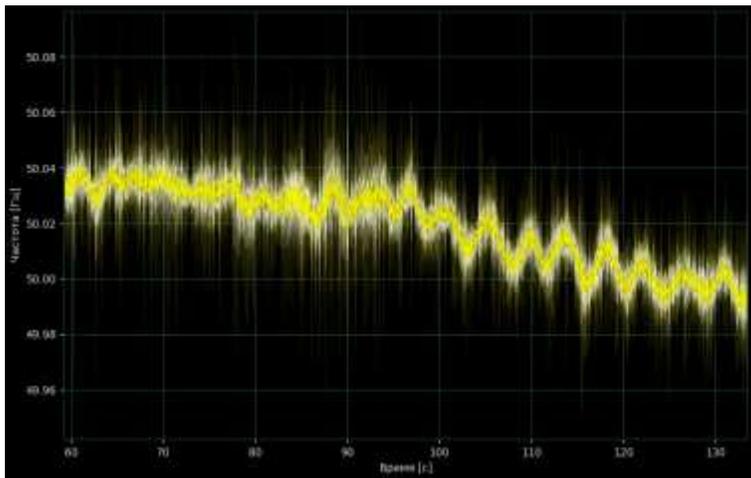
Goplan – параллельная вычислительная платформа (Golang) для обработки сигналов СВЧ.

План является **функциональной программой**, что обеспечивает ему внутренний параллелизм.

ES Phasor – программная система для анализа НЧК.

ES Phasor содержит модуль **оптимизации** вычислительных схем в пространстве доступных решений и на записях реальных случаев НЧК.

Визуализация данных НЧК



Dissipating Energy Flow (DEF)

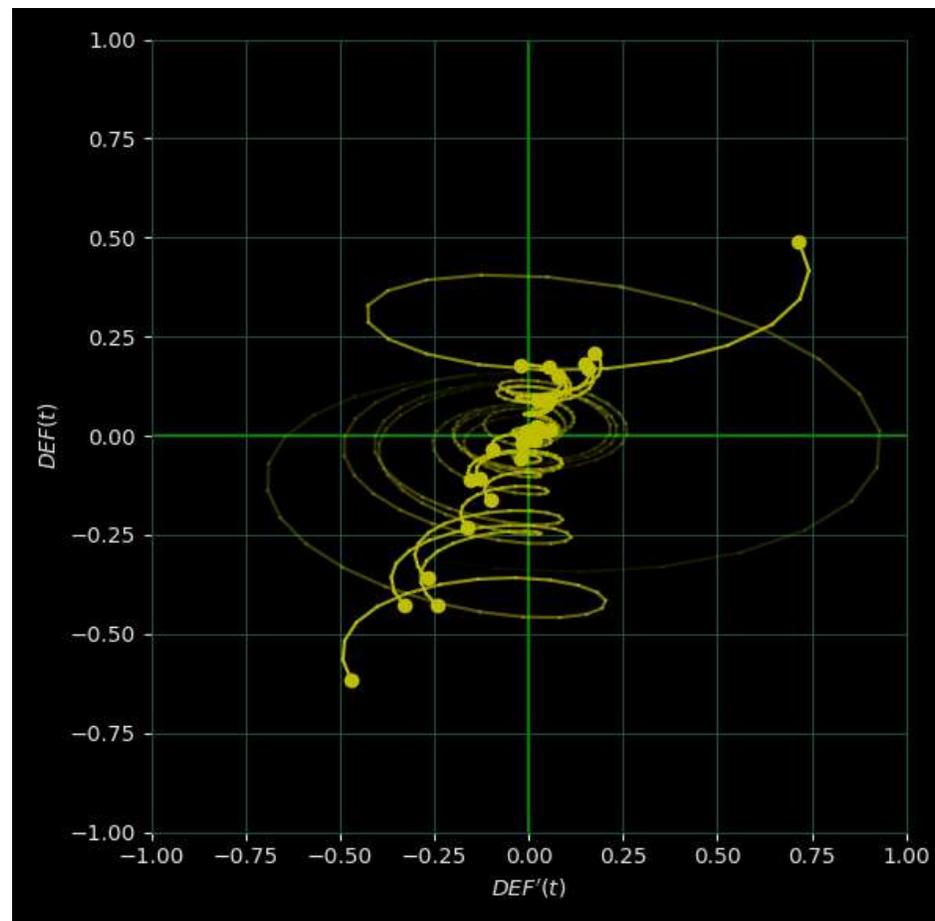
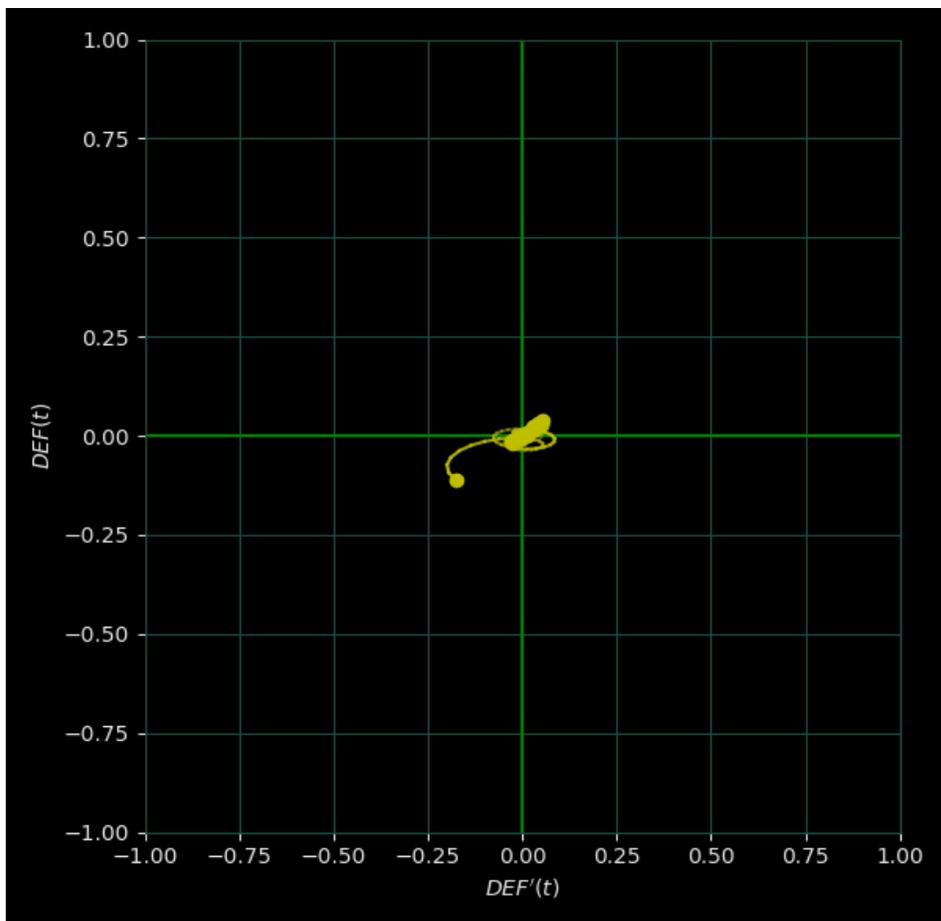
$$W_{ij}^D \approx \int 2\pi \Delta P_{ij} \Delta f_i dt + \Delta Q_{ij} \frac{d(\Delta U_i)}{\tilde{U}_i + \Delta U_i}$$

Символом Δ обозначена операция извлечения колебательной составляющей из измерительного сигнала, P_{ij} – активная мощность на линии $i - j$, Q_{ij} – реактивная мощность, f_i – частота, U_i – напряжение, \tilde{U}_i – среднее значение напряжения в точке i .

$$W_{ij}^D(t) = DE_{ij} * t + b_{ij}$$

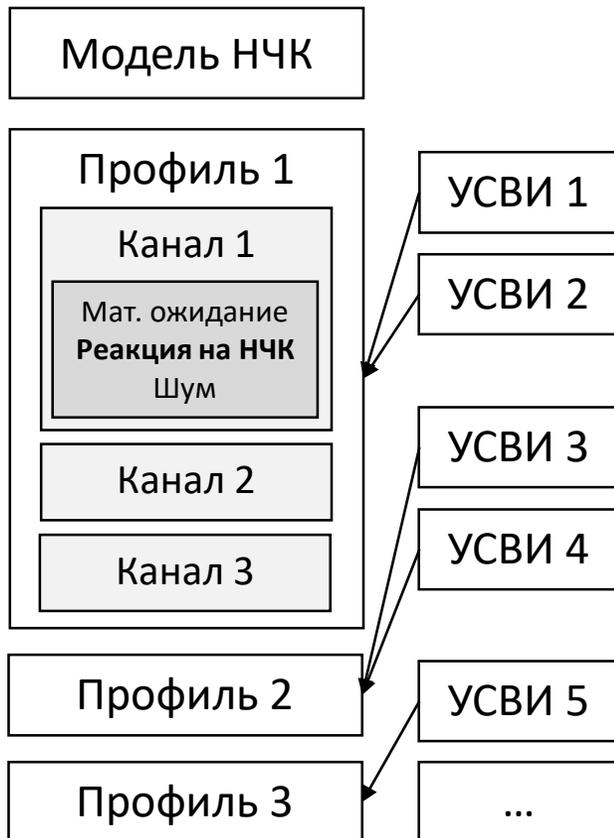
Положительные значения DE_{ij} свидетельствуют о перетоке энергии колебаний от объекта к системе, а отрицательные – об обратном направлении перетока.

DEF на фазовой плоскости

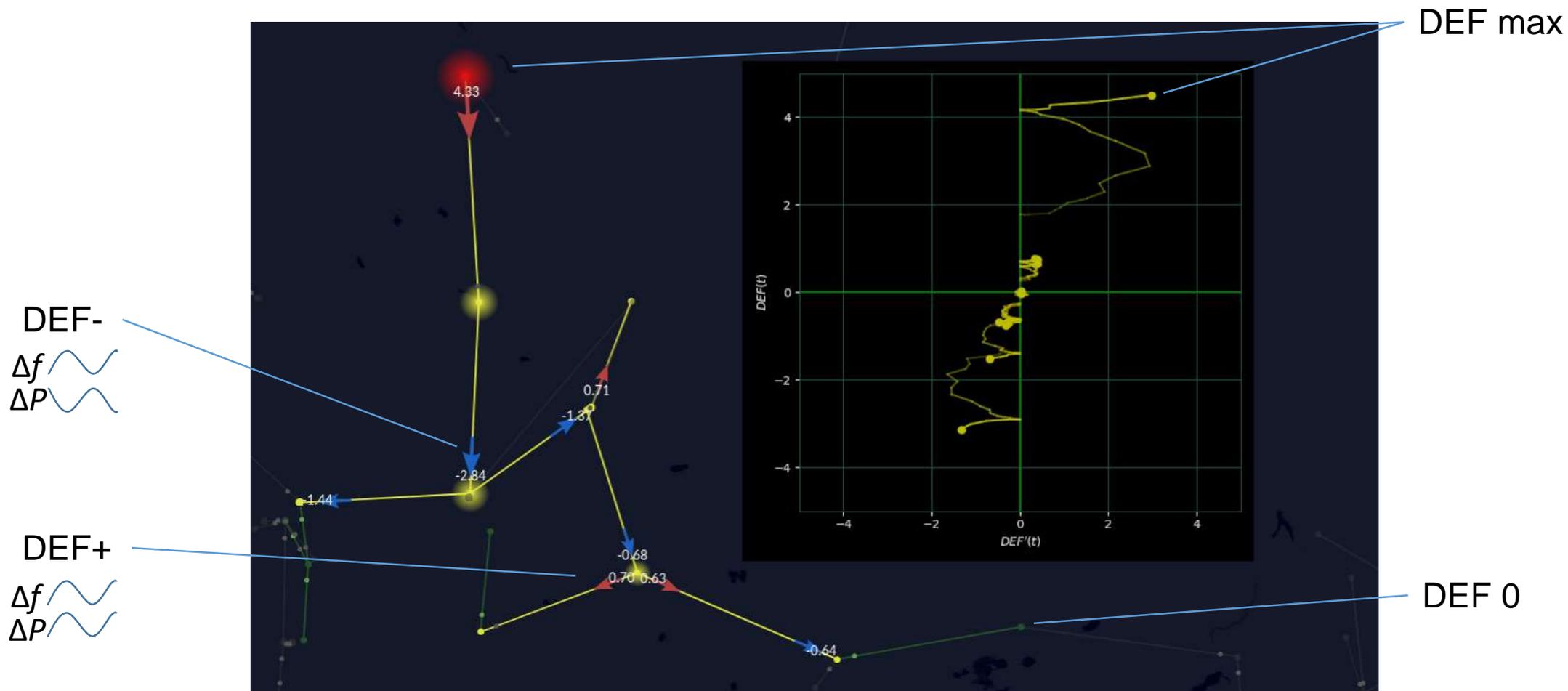


Тестовые данные (VirtPMU)

Как компактно описать данные масштабных НЧК, обеспечив, с одной стороны, уникальность (разнообразие) синтезируемых сигналов, а, с другой, получить задуманный результат анализа?



DEF на тестовых данных



Заключение

Разговор о «больших данных СВИ» затрагивает **широкий круг вопросов.**

Здесь он дополняется вопросом **вторичных данных**, т.е. информационных сигналов, получаемых путём вычислений, но также принимающих форму данных для определённых этапов анализа.

В задаче анализа НЧК таких данных **на два порядка больше**, чем исходных измерений.

Проблема представления (визуализации).

На примере диссипативной энергии показан способ визуализации массива динамических параметров колебаний.

Хранение и передача таких данных могут быть заменены их вычислением при наличии хранимой и передаваемой конфигурации вычислительной схемы.

Спасибо за внимание!

a.popov@ens.ru