

Усовершенствование системы мониторинга силовых трансформаторов при помощи высокодискритизированных устройств синхронизированных векторных измерений

А.А. Ачитаев, achitaevaa@gmail.com
М.О. Перцевой, matve.2004@yandex.ru



Актуальность исследования

Возможности СМСТ компании «Энергосервис»:

1 Непрерывное измерение, регистрация, преобразование и отображение диагностических параметров СТ

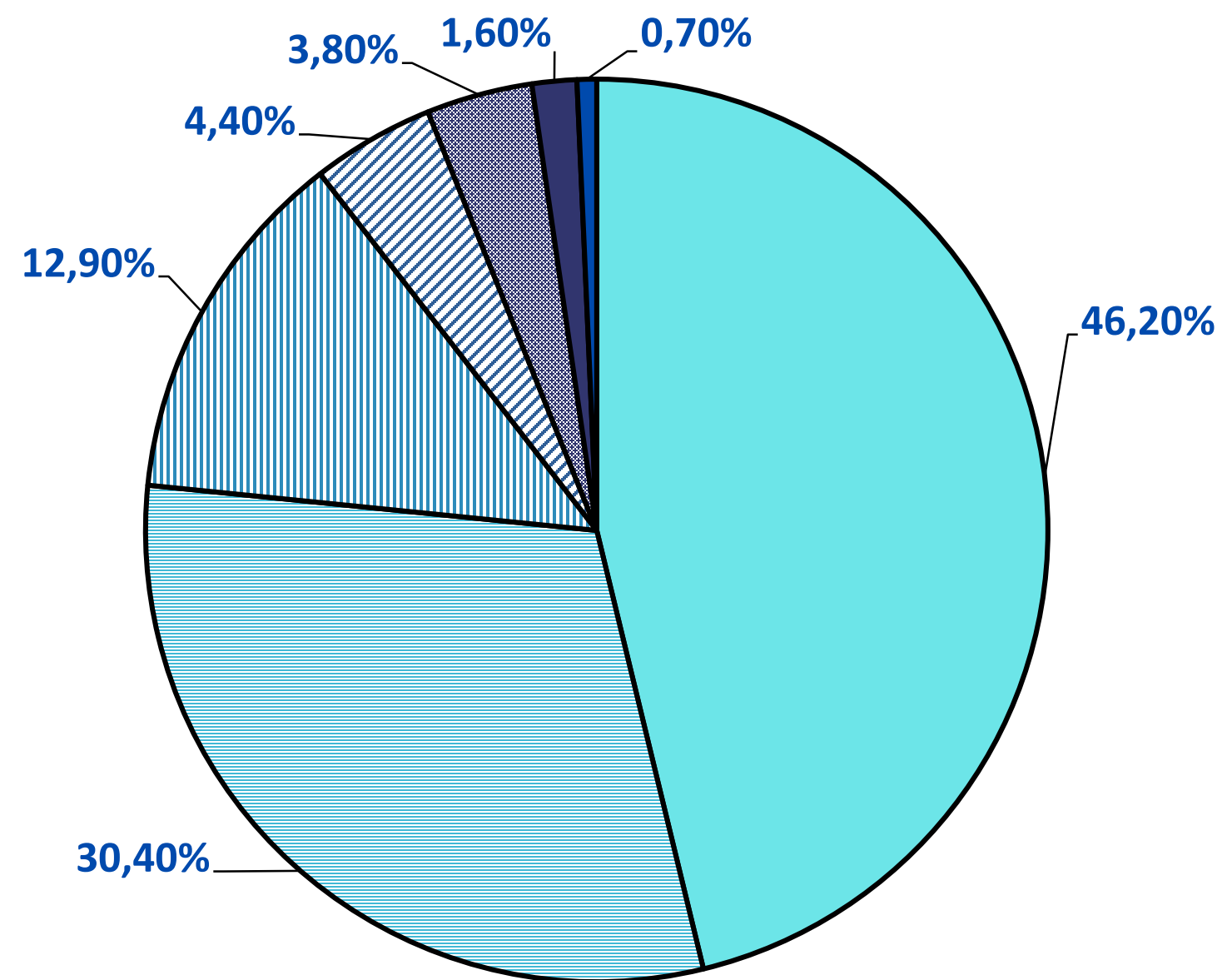
2 Определение технического состояния СТ

3 Прогноз остаточного ресурса и оптимизация диагностических работ

4 Переход к ремонту по состоянию



Согласно распоряжению правительства РФ от 12.03.2024 N 581-р перспективным являются системы мониторинга состояния оборудования



- Выключатели
- Силовые трансформаторы
- Трансформаторы тока
- Шунтирующие реакторы
- Разъединители
- Трансформаторы напряжения
- Ограничители перенапряжения нелинейные

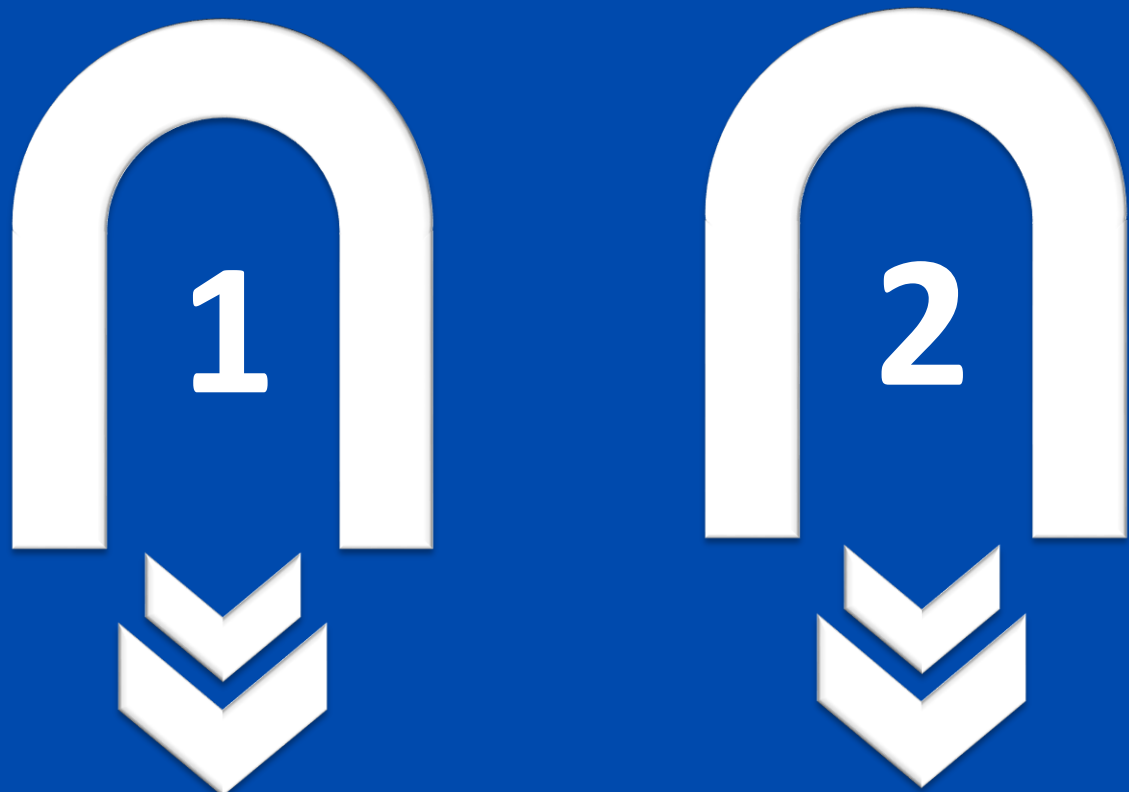
Повреждения различных видов основного электрооборудования ПС 35-750 кВ



РусГидро


Анализ проблематики

1. По причине недостаточной дискретизации данных УСВИ:



Невозможен мониторинг высших гармоник

При переходе к ремонту по состоянию точность модели может быть не достигнута

 Аварийные остановки, повреждение оборудования

2. При эксплуатации СТ происходит изменение его режимных параметров, что приводит к:

- Изменению потерь на ХХ
- Изменению напряжения КЗ

Нарушение параллельной работы СТ

- Возникновение больших ур. токов
- Перегрузка СТ



РусГидро

Анализ проблематики



Согласно исследованиям «Энергосервис» расчёт СЗ СТ при помощи УСВИ проводится в режиме реального времени:



$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 - \dot{I}'_2 \quad (1)$$

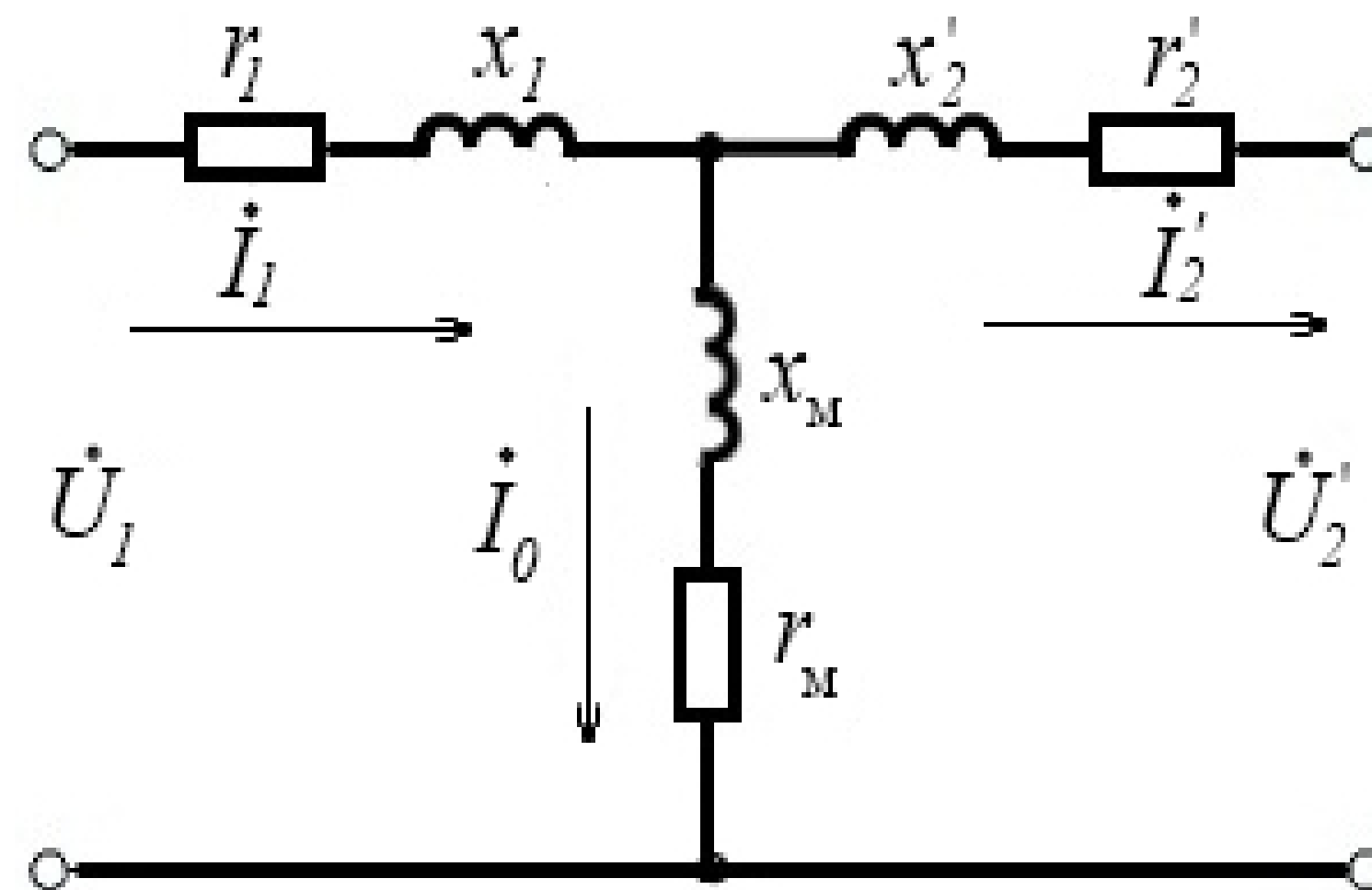
$$\dot{U}_1(k) = \dot{U}'_2(k) + \dot{I}'_2(k)z'_2 + \dot{I}_1(k)z_1 \quad (2)$$

$$z_1 = \frac{\dot{U}_1(k) - \dot{U}'_2(k) - \dot{I}'_2(k)z'_2}{\dot{I}_1(k)} \quad (3)$$

$$\dot{U}_1(k-n) = \dot{U}'_2(k-n) + \dot{I}'_2(k-n)z'_2 + \dot{I}_1(k-n)z_1 \quad (4)$$

$$z'_2 = \frac{\dot{U}_1(k-n)\dot{I}_1(k) - \dot{U}_1(k)\dot{I}_1(k-n) + \dot{U}'_2(k)\dot{I}_1(k-n) - \dot{U}'_2(k-n)\dot{I}_1(k)}{\dot{I}_1(k)\dot{I}'_2(k-n) - \dot{I}_1(k-n)\dot{I}'_2(k)} \quad (5)$$

$$z_0 = \frac{\dot{U}_0(k)}{\dot{I}_0(k)} = \frac{\dot{U}_1(k) - \dot{I}_1(k)z_1}{\dot{I}_1(k) - \dot{I}'_2(k)} \quad (6)$$



Т-образная СЗ СТ



Метод сжатия потоковых данных

На вход поступает сигнал $x(t)$, далее проходит через фильтры $H = (H_e, H_1, \dots, H_n)$, которые выделяют спектр $x_k[n]$ в его базисное представление $y_k[n]$

$$y_k[n] = (x[n] \cdot e^{-jk\omega_0 n}) \otimes h_k[n]$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_0}{f_s}$$

f_s – частота дискретизации сигнала

\otimes – оператор свёртки

Интергармоники $y_e[n]$ представляются в виде

$$y_e[n] = x[n] - \sqrt{2} \operatorname{Re} \left(\sum_{k=1}^K y_k[n] \cdot e^{jk\omega_0 n} \right)$$

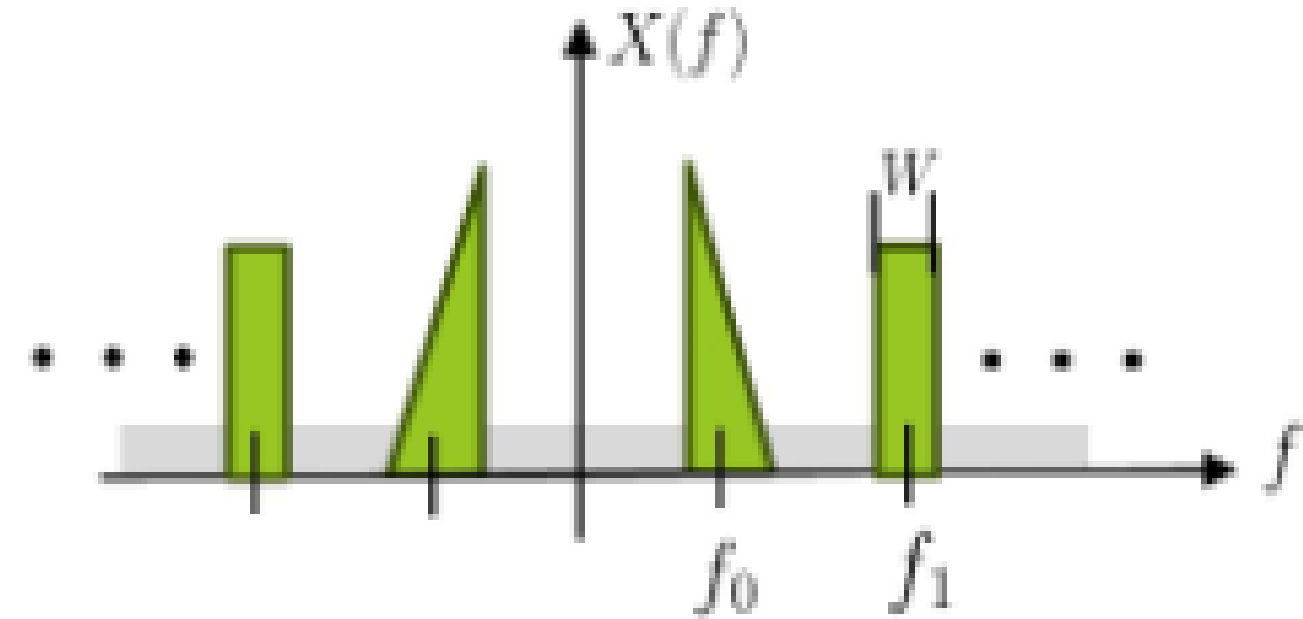
По теореме Найквиста величина сжатия

$$S_k = \left[\frac{f_s}{W_k} \right]$$

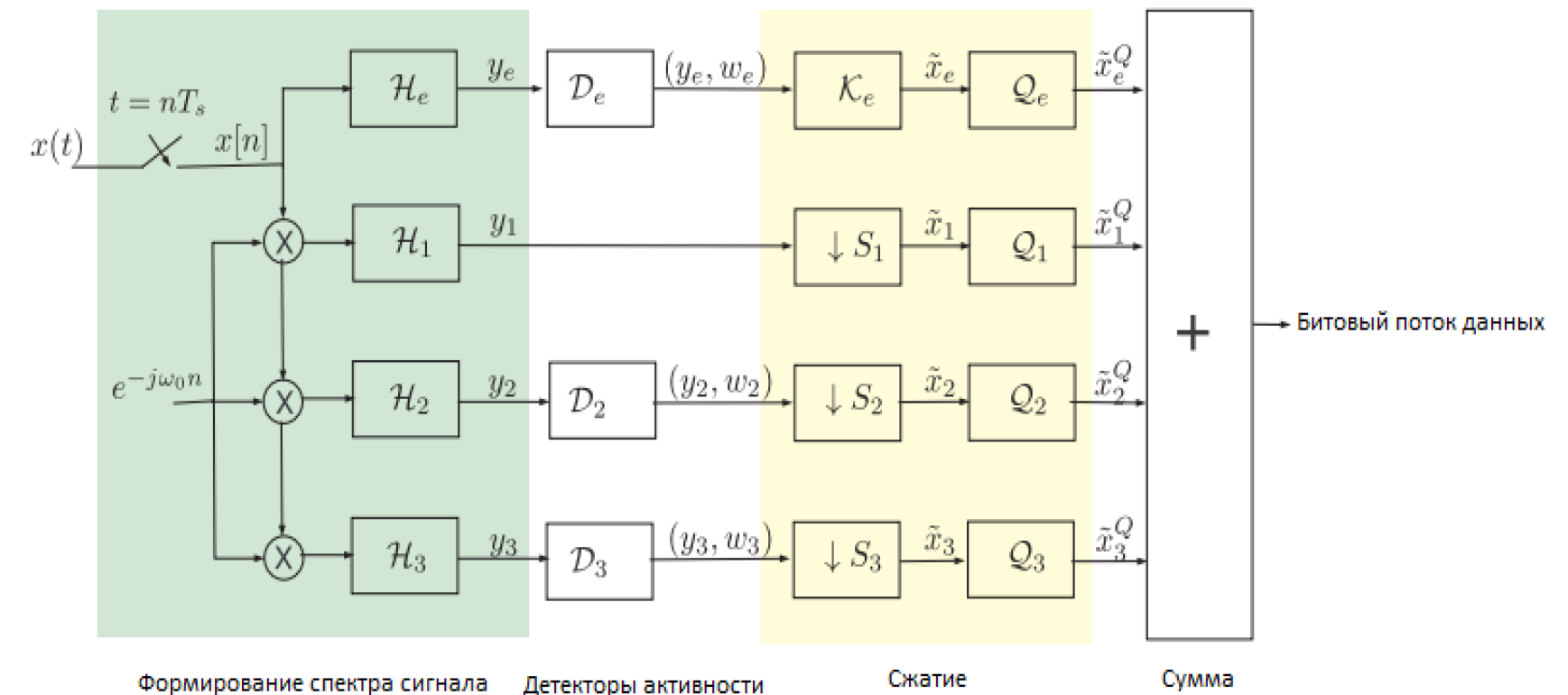
Сжатая последовательность данных примет вид

$$\tilde{x}_k[n] = \begin{cases} y_k[nS_k], & k = 1 \\ \emptyset, & k \neq 1 \end{cases}$$

\emptyset – поток данных не требует сжатия



Разложение сигналов

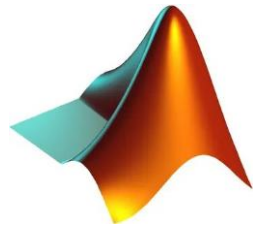


Формирование спектра сигнала Детекторы активности Сжатие Сумма

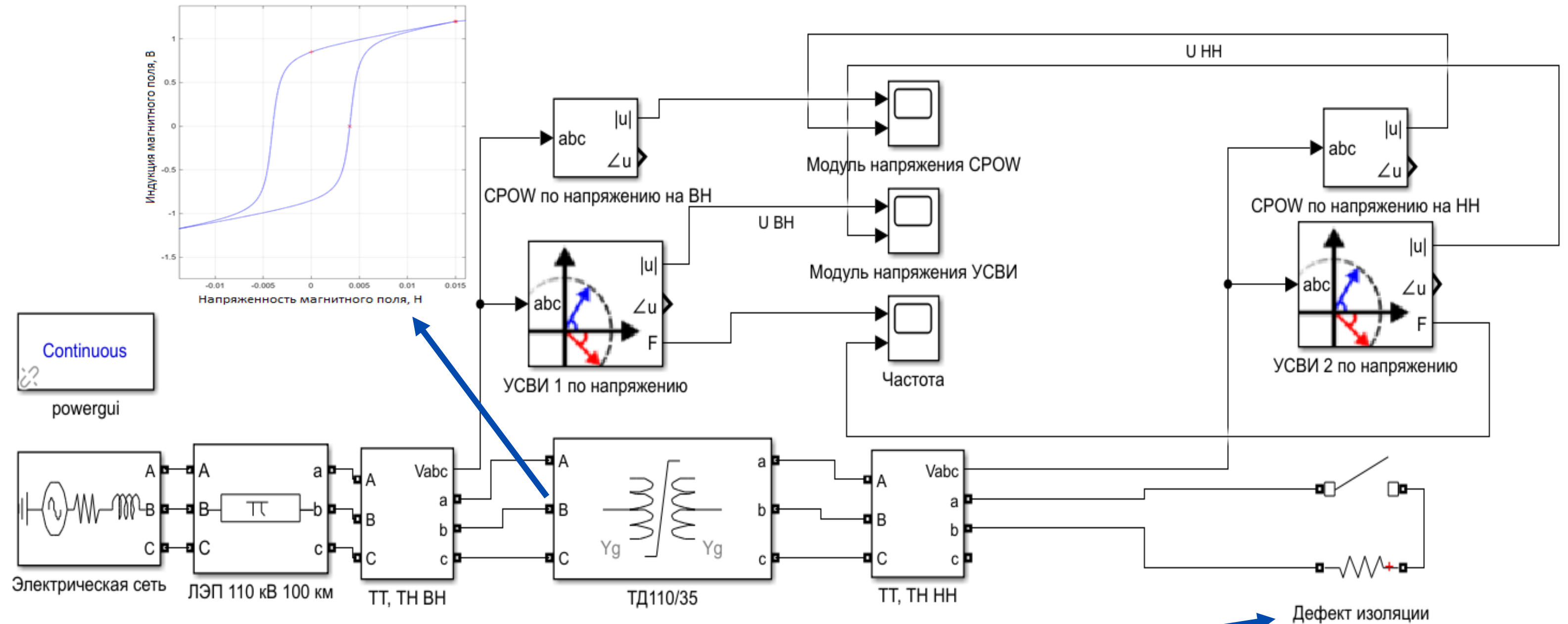
Сжатие спектров частоты



Анализ эффективности СРОВО в сравнении с УСВИ WAMS



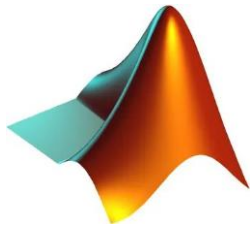
Математическая модель в Matlab:



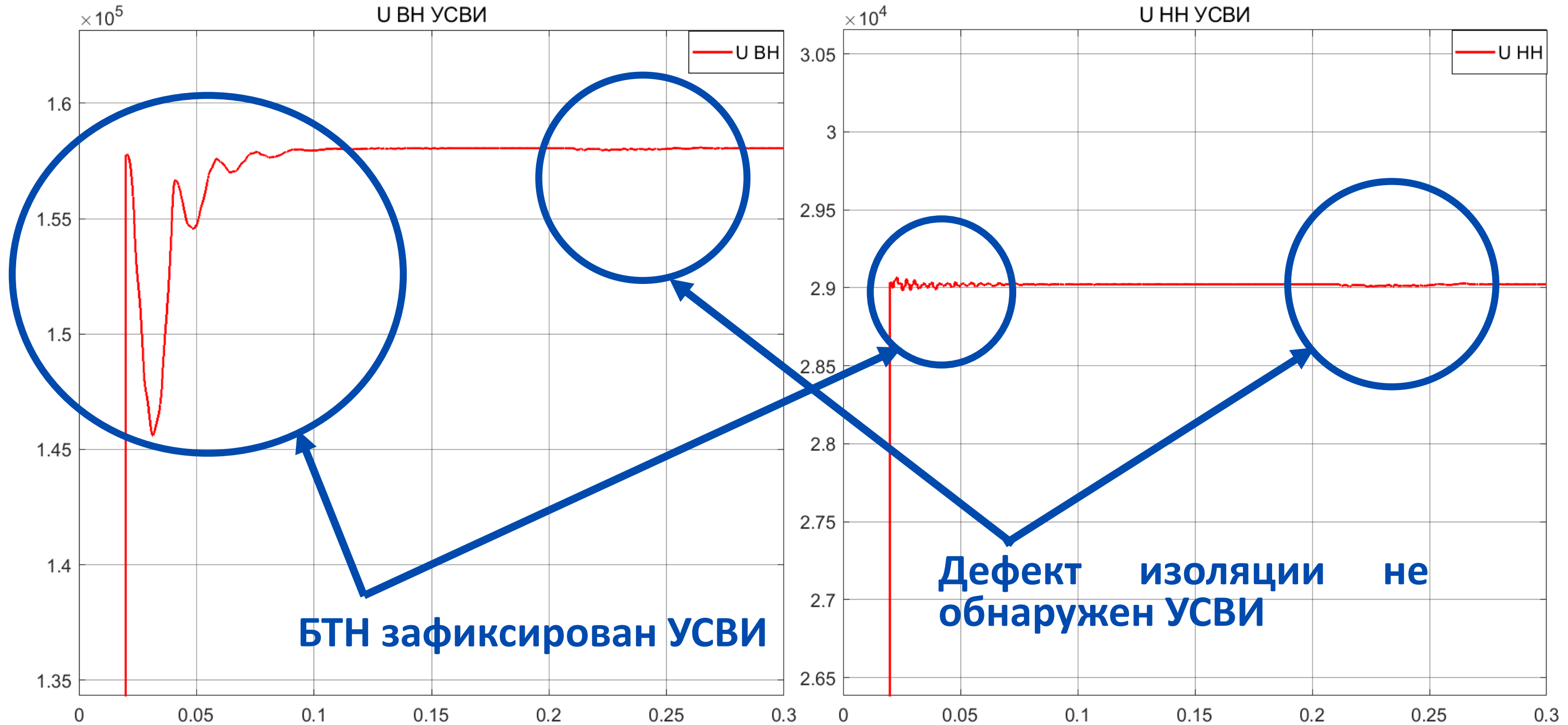
Дефект изоляции в моменты времени 0,21-0,26 с



Анализ эффективности СРОВО в сравнении с УСВИ WAMS

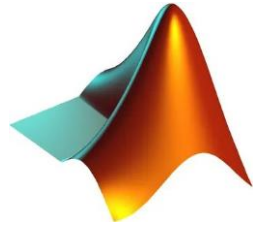


Измерения УСВИ по напряжению СТ:

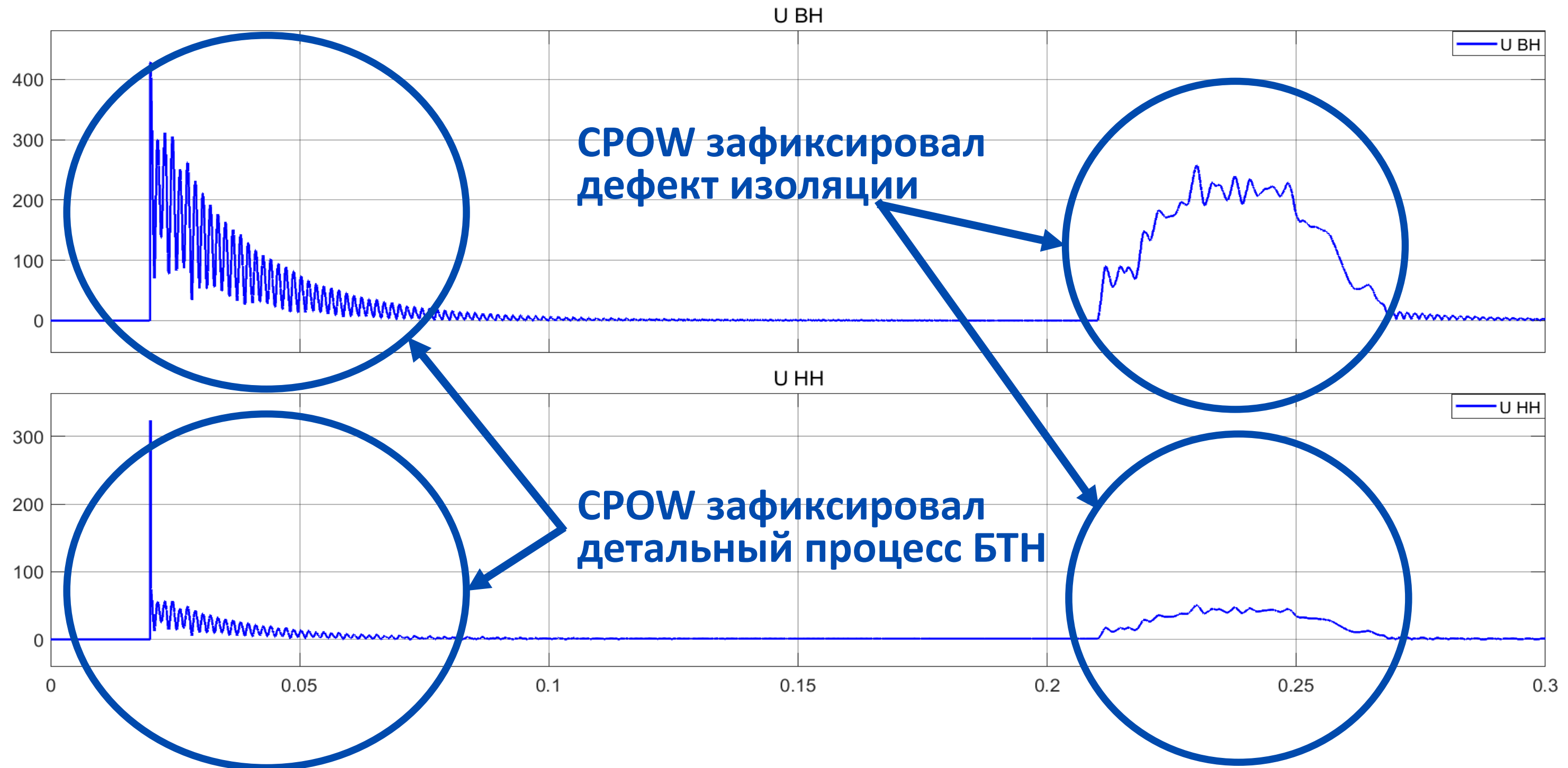




Анализ эффективности СРОВО в сравнении с УСВИ WAMS

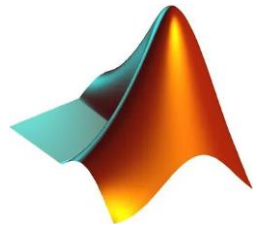


Измерения СРОВО по напряжению обратной последовательности СТ:

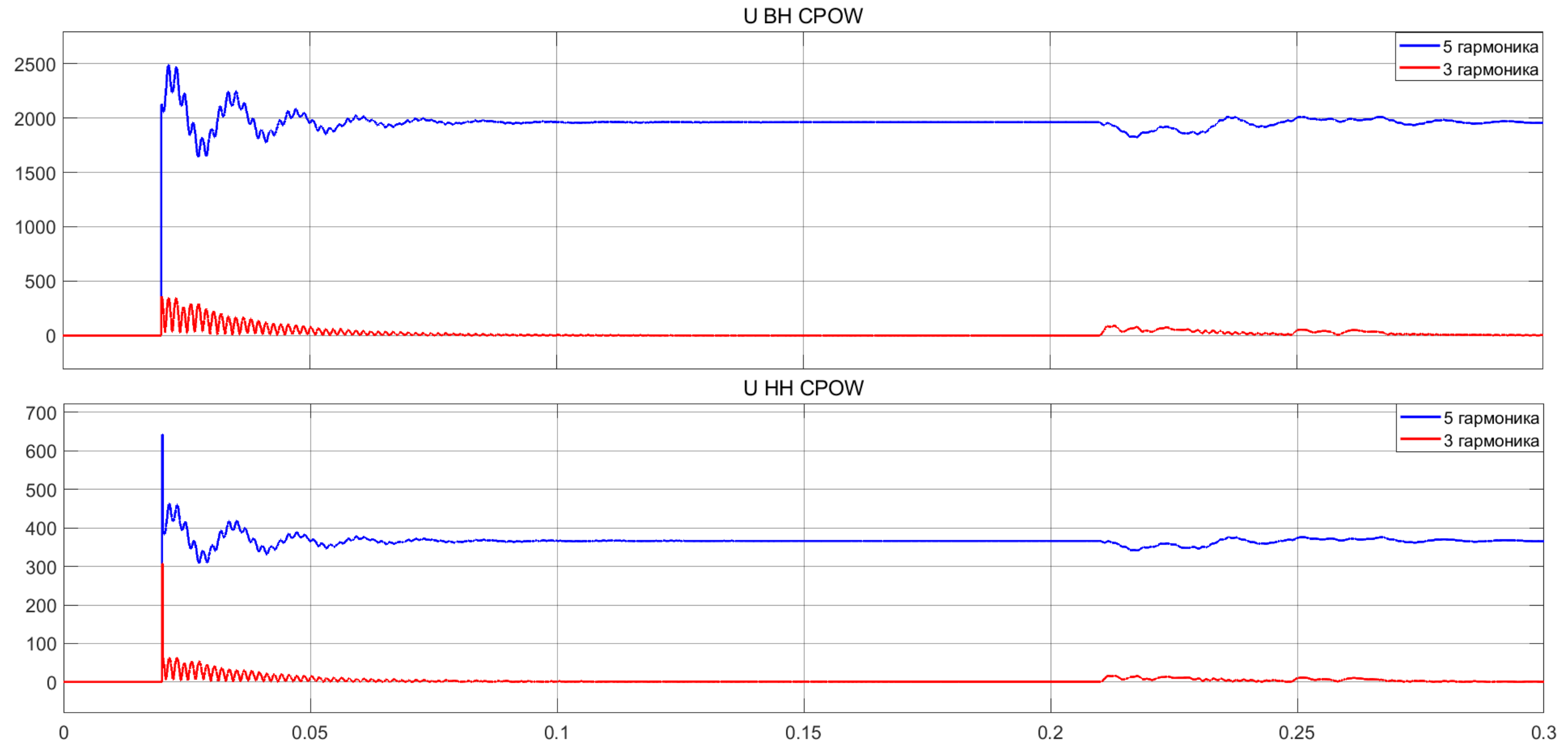




Анализ эффективности СРОВО в сравнении с УСВИ WAMS



Измерения СРОВО по 3 и 5 гармоникам:





Применение CROW для СМСТ позволит расширить её возможности. Данная технология может быть внедрена не только в СМСТ, но и СМПР, что позволит проводить мониторинг высших гармоник, вызванных по причине роста возобновляемой энергетики. Для эффективного внедрения необходимо:

1

Проведение НИОКР

2

Разработка нормативных документов

3

Применение подходов к обработке сигналов

Благодарим за внимание!

А.А. Ачитаев, achitaevaa@gmail.com
М.О. Перцевой, matve.2004@yandex.ru