



ПЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В БОЛЬШИХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ В МАСШТАБЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И С ОПЕРЕЖЕНИЕМ

Г.С. НУДЕЛЬМАН, А.А. НАВОЛОЧНЫЙ, О.А. ОНИСОВА

ОАО «ВНИИР»

АБС Электро



ОАО «СО ЕЭС»





МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ (ЕМТ)



Реализуется моделирующими комплексами реального времени соответствующего типа.

Основные сферы применения:

- испытания устройств релейной защиты, режимной и противоаварийной автоматики, системных регуляторов, устройств FACTS и HVDC и т.п. в «замкнутом цикле» (с учётом влияния испытываемого устройства на режим модели энергосистемы);
- разработка алгоритмов действия устройств защиты, регулирования и управления, систем управления устройствами FACTS;
- обучение и тренировка инженерно-технического персонала объектов электроэнергетики.

Расчёт электромагнитных переходных процессов в режиме реального времени обеспечивается использованием специальных вычислительных методов:

- EMTP (ElectroMagnetic Transient Program);
- пространства состояний (State-Space).



МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ (ЕМТ)

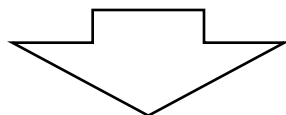


ЕМТР-алгоритмы

$$[G(\Delta t)] \cdot U(t) = I(t) - I(t - \Delta t),$$

где $[G(\Delta t)]$ – матрица узловых проводимостей;
 $U(t)$ – вектор напряжений в узлах электрической сети в момент времени t ;
 $I(t)$ – вектор токов источников тока в момент времени t ;
 $I(t - \Delta t)$ – вектор токов источников тока в момент времени $(t - \Delta t)$.

$$\Delta t = 20 \div 80 \text{ мкс}$$



$$F_{\text{п/п MAX}} = 2 \div 5 \text{ кГц}$$





МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ (ЕМТ)



RTDS
RTDS Technologies, Inc.



HYPERSIM (варианты исполнения)
OPAL-RT Technologies, Inc.



метод пространства состояний (State-Space)

$$\begin{aligned} X'(t) &= [A(t)] \cdot X(t) + [B(t)] \cdot V(t) \\ W(t) &= [C(t)] \cdot X(t) + [D(t)] \cdot V(t) \end{aligned}$$

где $X(t)$ – вектор переменных состояния (токов в индуктивностях и напряжений на ёмкостях);

$V(t)$ – вектор источников внешних воздействий (э.д.с. и токов источников);

$W(t)$ – вектор выходных (искомых) величин;

$[A(t)]$ – основная матрица системы (матрица параметров);

$[B(t)]$ – матрица связи между источниками (входом системы) и переменными состояния;

$[C(t)]$ – матрица связи переменных состояния с искомыми величинами (выходом);

$[D(t)]$ – матрица связи входа и выхода системы.



eMEGAsim

OPAL-RT Technologies, Inc.

ОСОБЕННОСТИ:

- реализована модификация метода пространства состояний – State-Space Nodal (SSN);
- используются ресурсы системы MATLAB/Simulink (с дополнительными библиотеками моделей и вычислительных подпрограмм).



МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ (ЕМТ)



Ключевое ограничение инструментальных средств, выполняющих расчёты электромагнитных переходных процессов в режиме реального времени, связано с размерами моделируемых схем.

Типичное (реально достижимое) количество однофазных узлов схемы составляет от 144 до 1000.

Способы увеличения объёма моделируемой схемы:

- увеличение шага моделирования (ухудшает детализацию);
- наращивание аппаратной части (материальные затраты).

Альтернативный вариант – отказ от реального времени за счёт использования возможности записи/воспроизведения рассчитываемых процессов (применим с ограничениями).



ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ (TS)



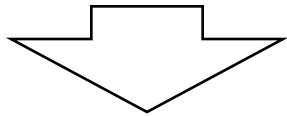
Задачи динамической устойчивости (Transient Stability – TS) позволяют исключить из рассмотрения электромагнитные переходные процессы:

$$\begin{aligned} X'(t) &= f(X, U), \\ [Y] \cdot U &= I(X, U), \\ X(t_0) &= X_0, \end{aligned}$$

где $[Y]$ – матрица полных узловых проводимостей.

«Векторное» представление электрических величин (применимо к сигналам одной частоты).

Шаг расчёта – до 10 мс.



Предельное количество однофазных узлов – 100 тысяч; реально достижимое – 10-20 тысяч.





ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ (TS)



ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ:

- обеспечение взаимодействия с СМПР/РМУ;
- возможность использования моделирующего комплекса для реализации мероприятий по управлению энергосистемой (при расчётах «на опережение»).

НЕДОСТАТОК:

- сравнительно низкая степень детализации результатов.



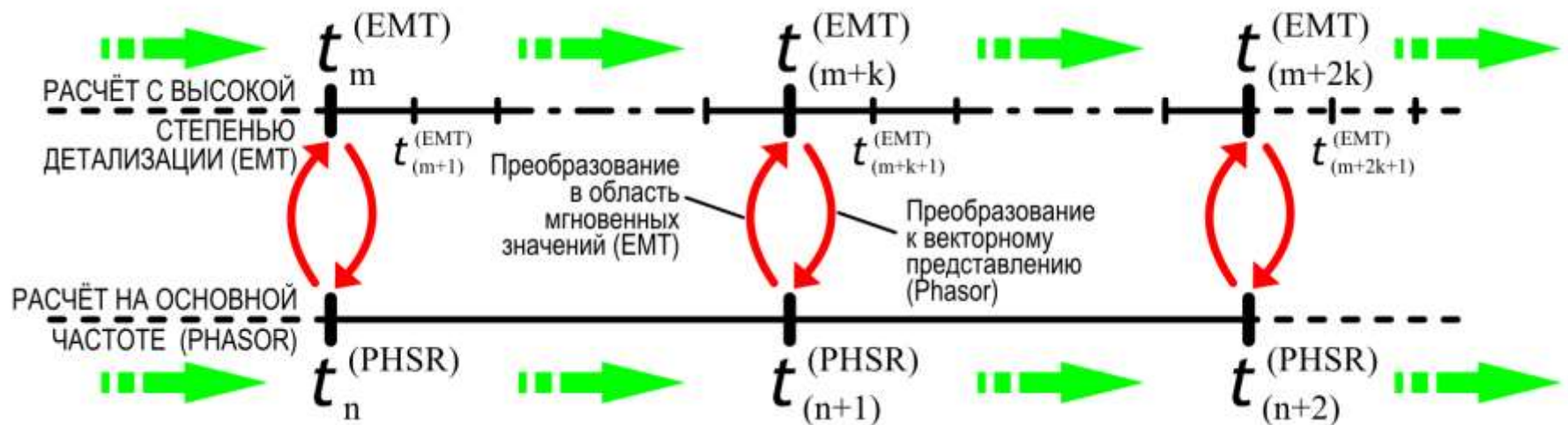
ePHASORsim

OPAL-RT Technologies, Inc.

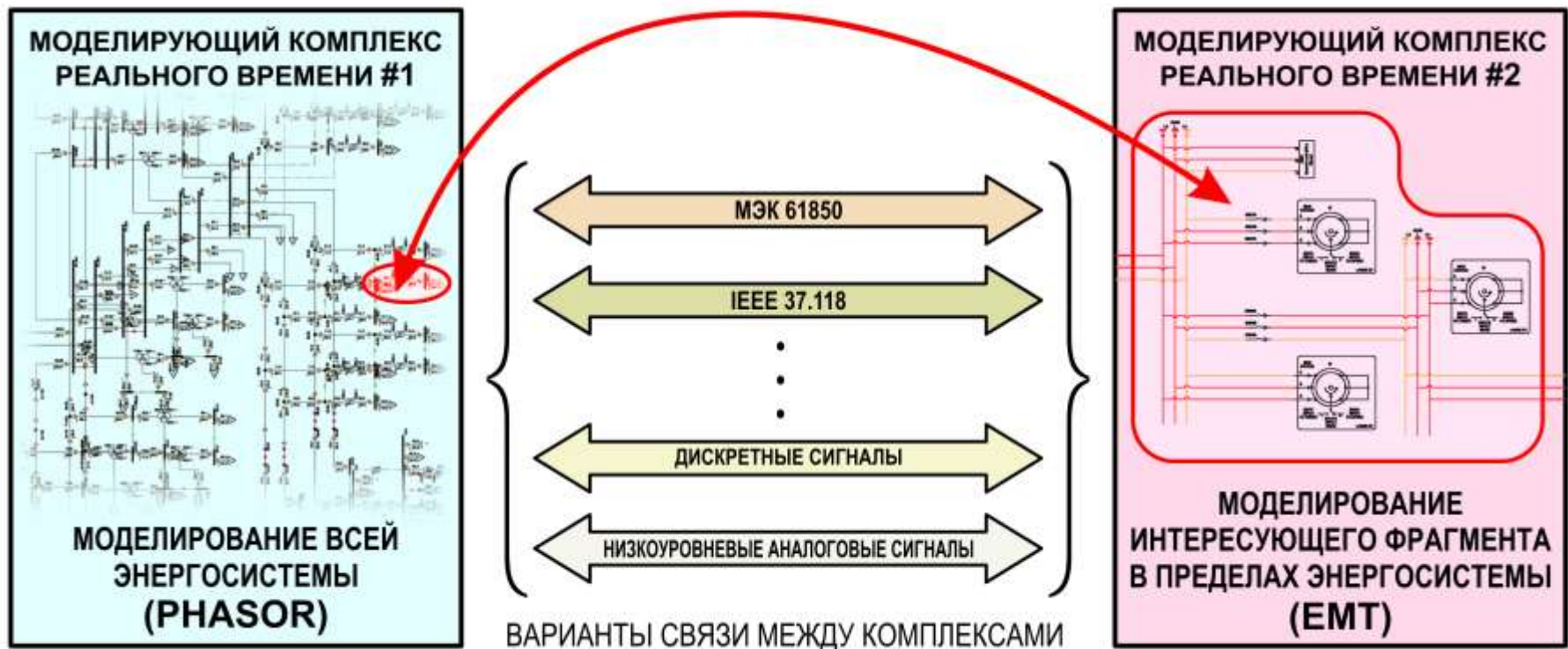
Цель: обеспечение высокой степени детализации процессов в исследуемом фрагменте энергосистемы с учётом процессов в прилегающей сети.

Реализация: моделирование интересующего фрагмента выполняется с применением EMTP- или SSN-методов; прилегающей сети – укрупнённо (TS-расчёт).

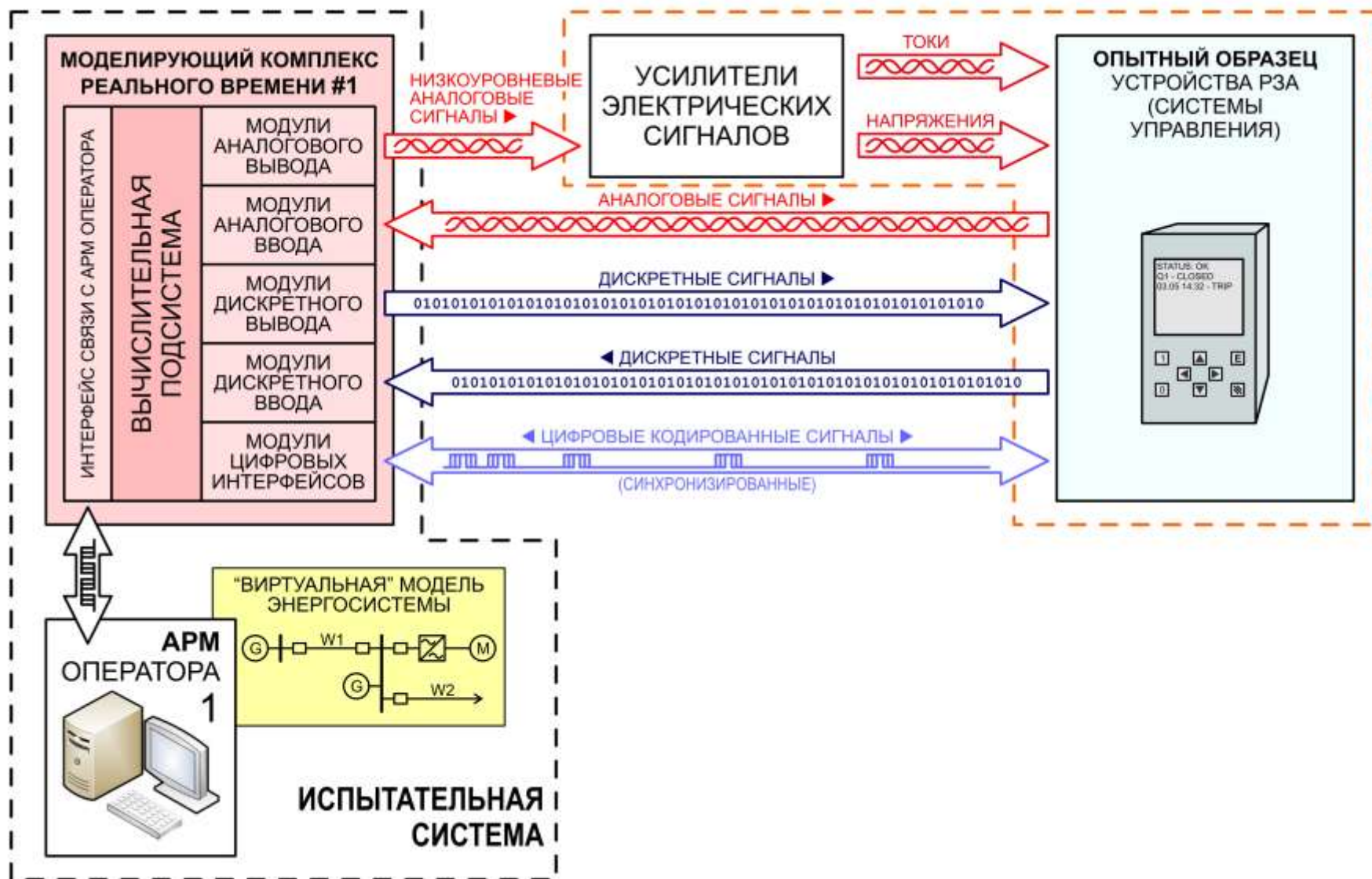
Необходим обмен данными расчёта на каждом шаге TS-расчёта:



Вариант реализации на основе использования двух моделирующих комплексов, работающих согласованно:

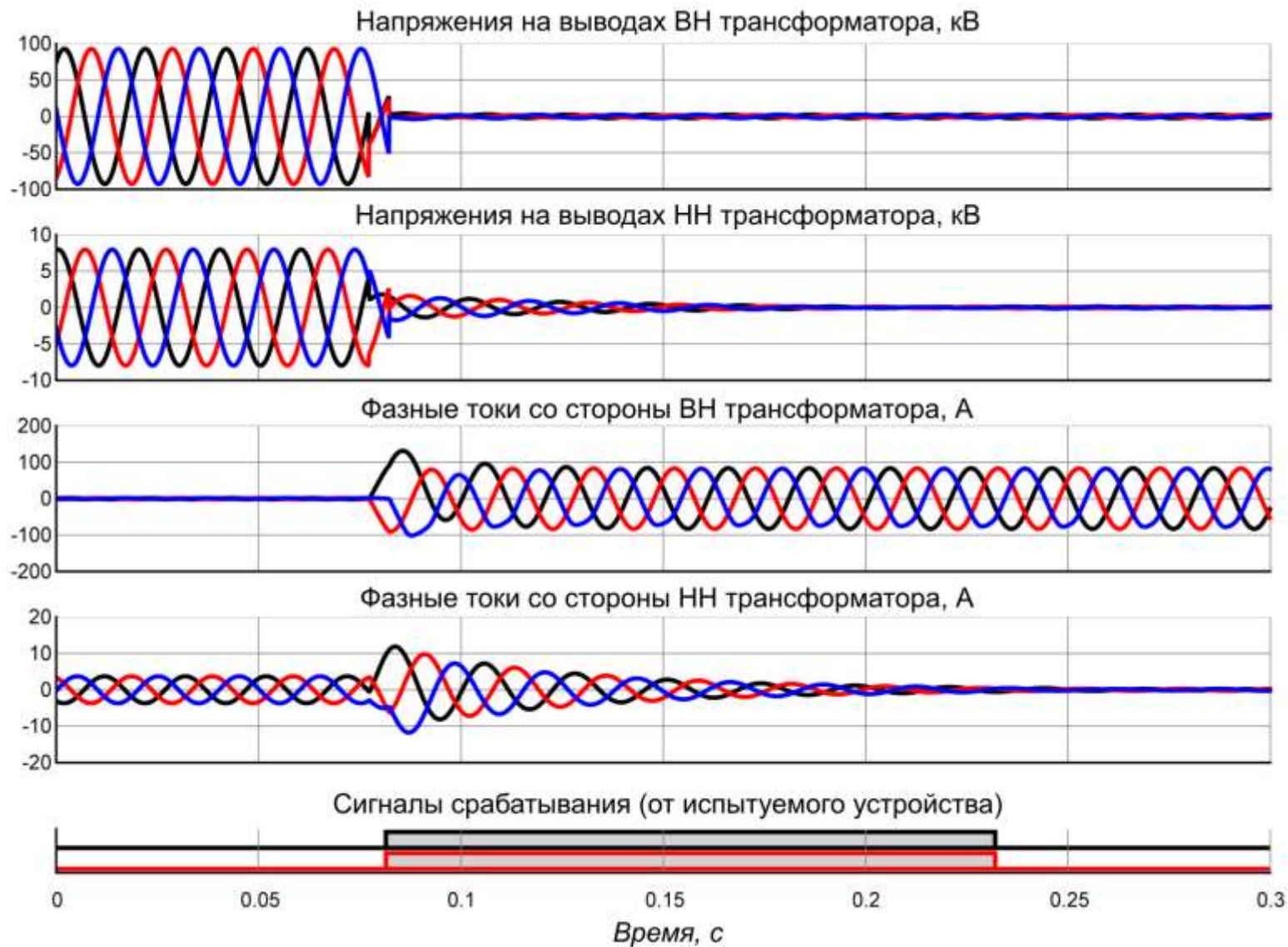


ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХ МКРВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УСТРОЙСТВ РЗА, СУ





ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХ МКРВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УСТРОЙСТВ РЗА, СУ





ВЫВОДЫ



- 1) Совместное использование моделирующих комплексов реального времени ЕМТ-типа позволяет оптимизировать процесс создания новых устройств релейной защиты, автоматики и управления: сократить сроки осуществления разработки, существенно снизить вероятность пересмотра принятых решений на этапе производства из-за ошибок, допущенных на ранних стадиях разработки.
- 2) Комбинированное использование инструментов моделирования уже сейчас позволяет осуществлять в режиме реального времени с высокой степенью детализации исследование отдельных фрагментов большой электроэнергетической системы с учётом поведения при возмущениях всех объектов этой системы.
- 3) Активно развиваются технологии сочетания методов расчета ЕМТ/Phasor в одном моделирующем комплексе. В перспективе следует ожидать появления инструментов, в автоматизированном режиме осуществляющих «разбиение» модели крупной энергосистемы на две подсистемы, одна из которых моделируется с высокой степенью детализации (ЕМТ-методы), а другая – с низкой (Phasor/TS).



ПЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



ОАО «СО ЕЭС»

aanav@vniir.ru

+7 919 671 27 17

Наволочный Александр Альбертович