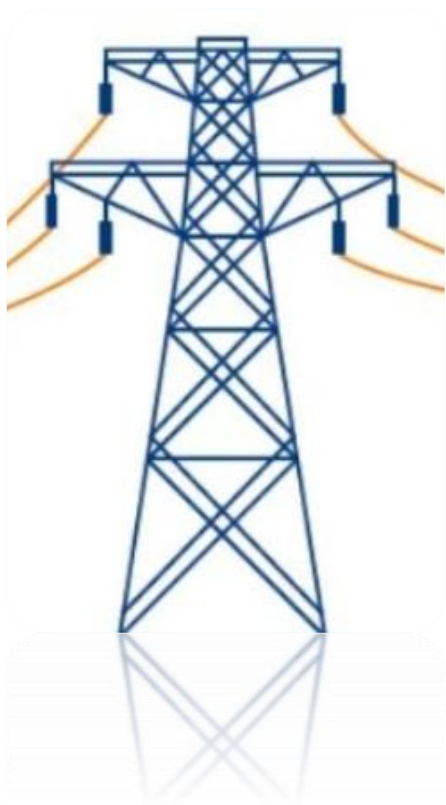




ЭКСПОНЕНТА

ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



Имитационные модели электроэнергетических объектов для исследования и разработки систем противоаварийной автоматики

Тимофеев Даниил

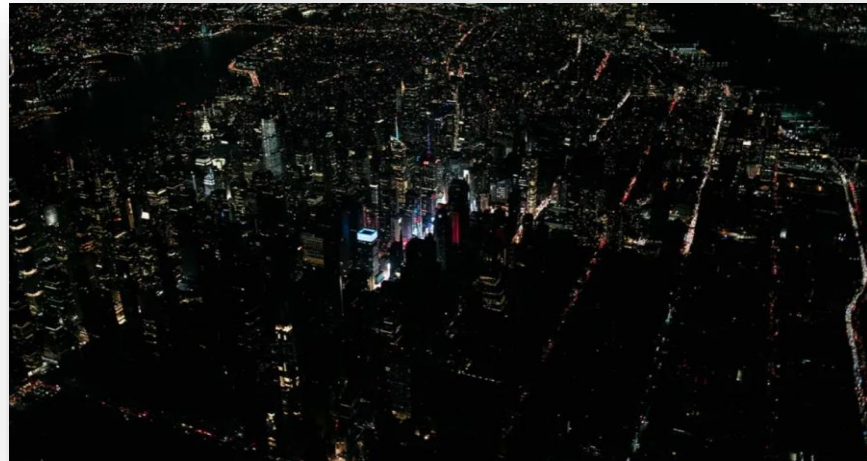
Инженер ЦИТМ «Экспонента»

Рассматриваемые вопросы:

- Важность единой имитационной модели защищаемого объекта (ИМО)
- Инструменты для построения моделей и алгоритмов ПА на примере MATLAB/Simulink
- Проведение сертификационных испытаний устройств с помощью машин реального времени

Противоаварийная автоматика

- (ПА) комплекс автоматических устройств, обеспечивающий измерение и обработку параметров электроэнергетического режима, передачу информации и команд управления и предназначенный для **выявления, ограничения развития и прекращения** аварийных режимов в энергосистемах с классом напряжения единицы и сотни киловольт (**6 – 750 кВ**).



Противоаварийная автоматика



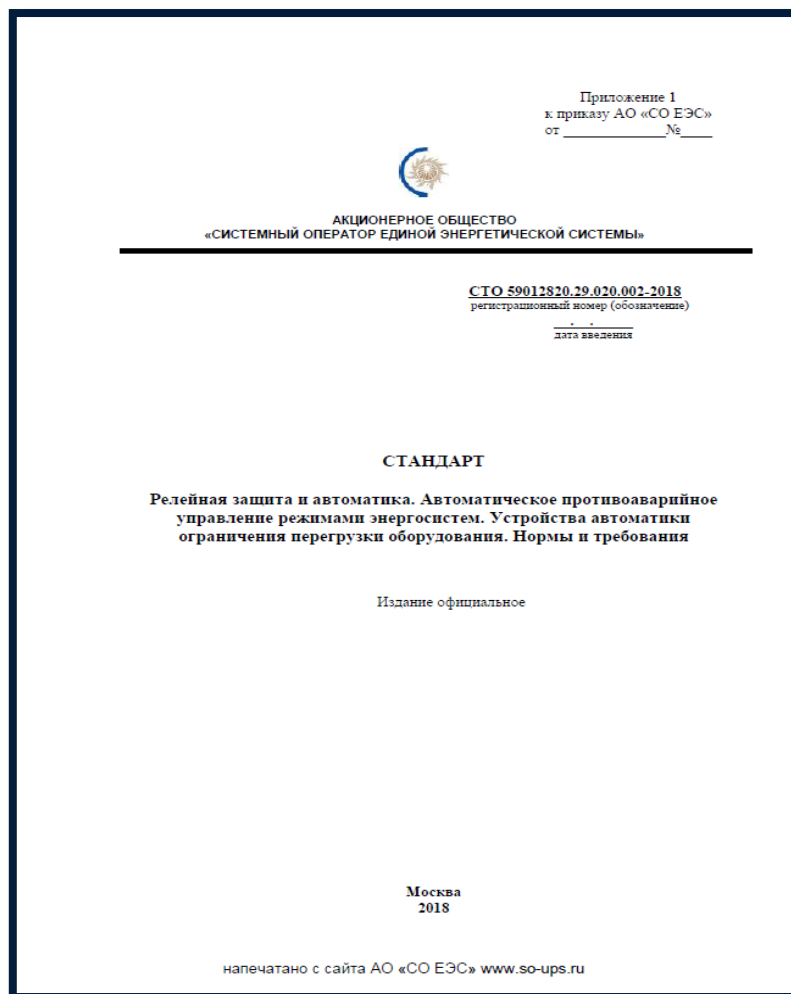
Сертификация устройств ПА



Описывает:

- Требования к устройствам ПА (автоматики ограничения перегрузки оборудования);
- Требования к **средствам** проведения испытаний;
- Методику проведения **сертификационных испытаний.**

Сертификация устройств ПА



Испытания:

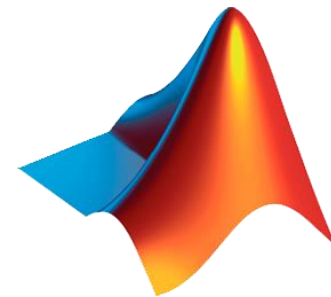
- Электромагнитные переходные процессы: **Короткие замыкания/замыкания на землю;**
- Электромеханические переходные процессы учитывающие **движения роторов машин;**
- Испытания в цепях **измерения и питания устройств.**

Важность ИМО для нужд сертификационных испытаний ПА

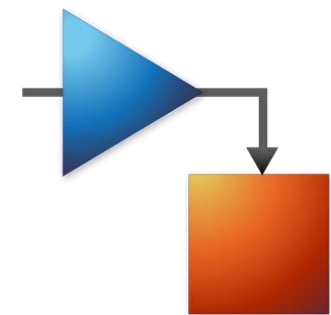
Необходимость иметь широкий набор наблюдаемых электрических величин

Моделирование электромагнитных и электромеханических переходных процессов разной сложности

Необходимость единой среды для моделирования электроэнергетических объектов и управления ими без стороннего ПО



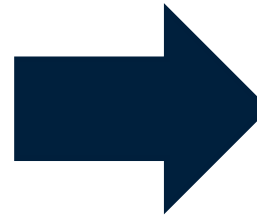
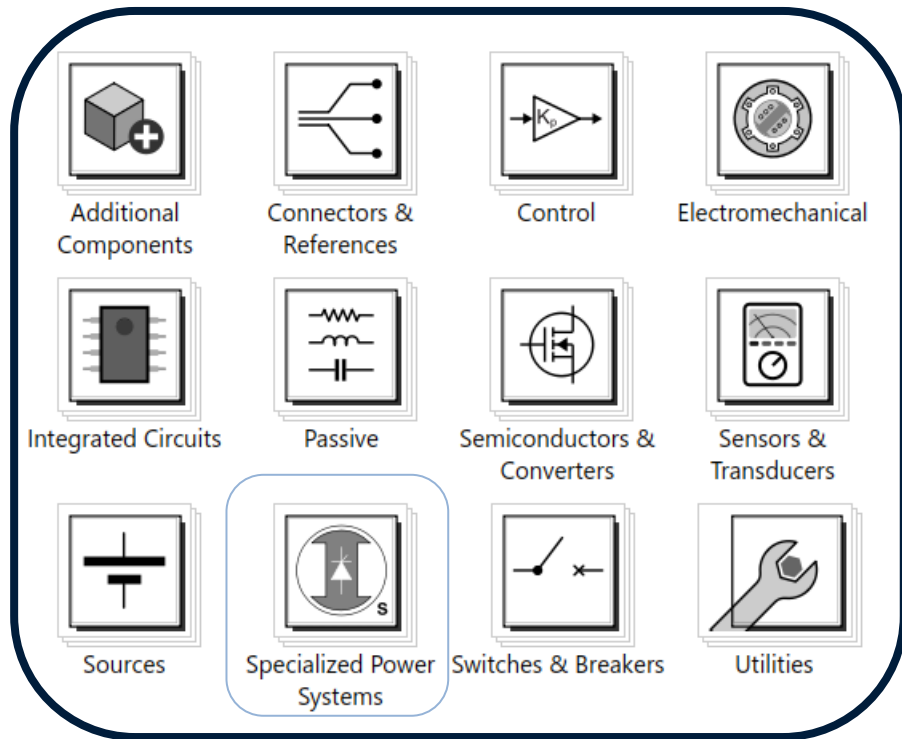
MATLAB



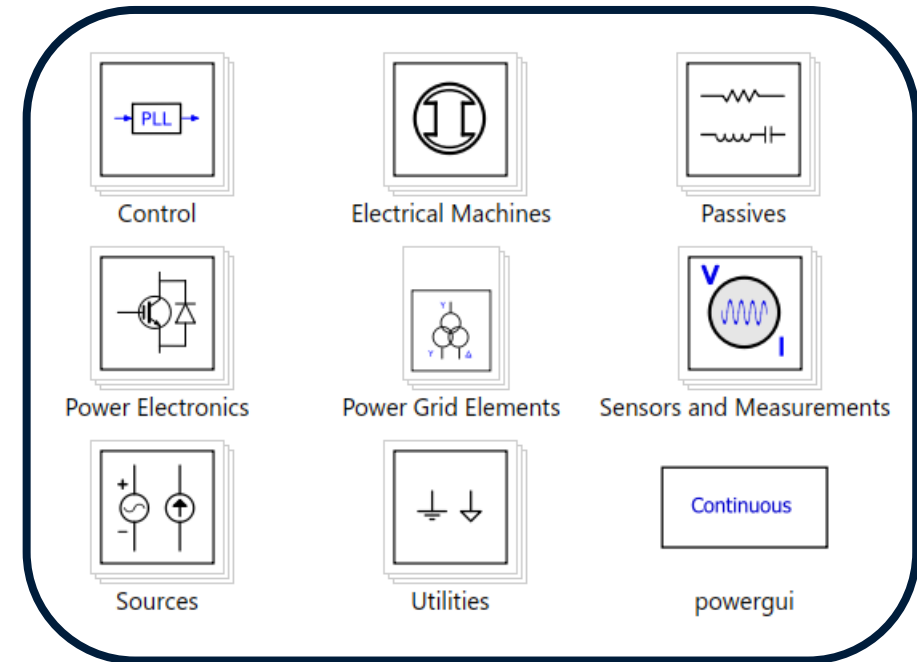
SIMULINK

Библиотеки для построения ИМО электроэнергетических объектов

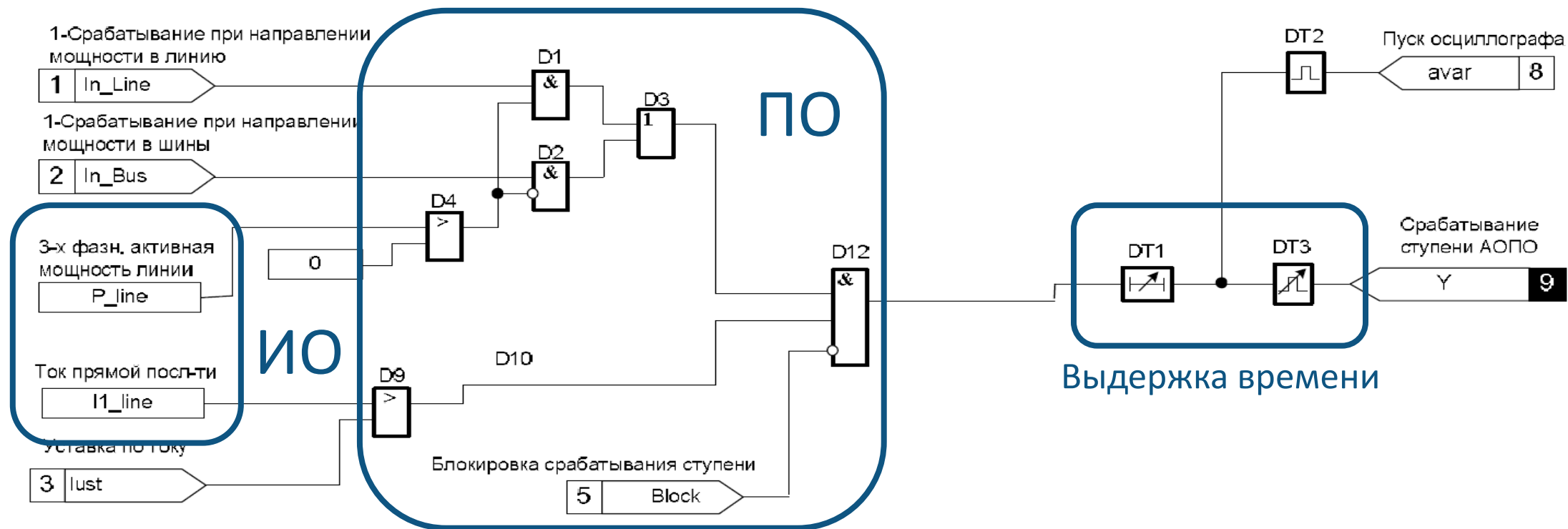
Simscape/Electrical



Simscape/Electrical/Specialized Power Systems



Алгоритм АОПО



Типовой алгоритм одной ступени функции АОПО с учетом направления мощности по СТО ПАО «ФСК ЕЭС»

Почему разработчику нужен свой собственный инструмент для тестирования и отладки?

Срочная наладка
все РЕТОМы в «полях»



Центр моделирования



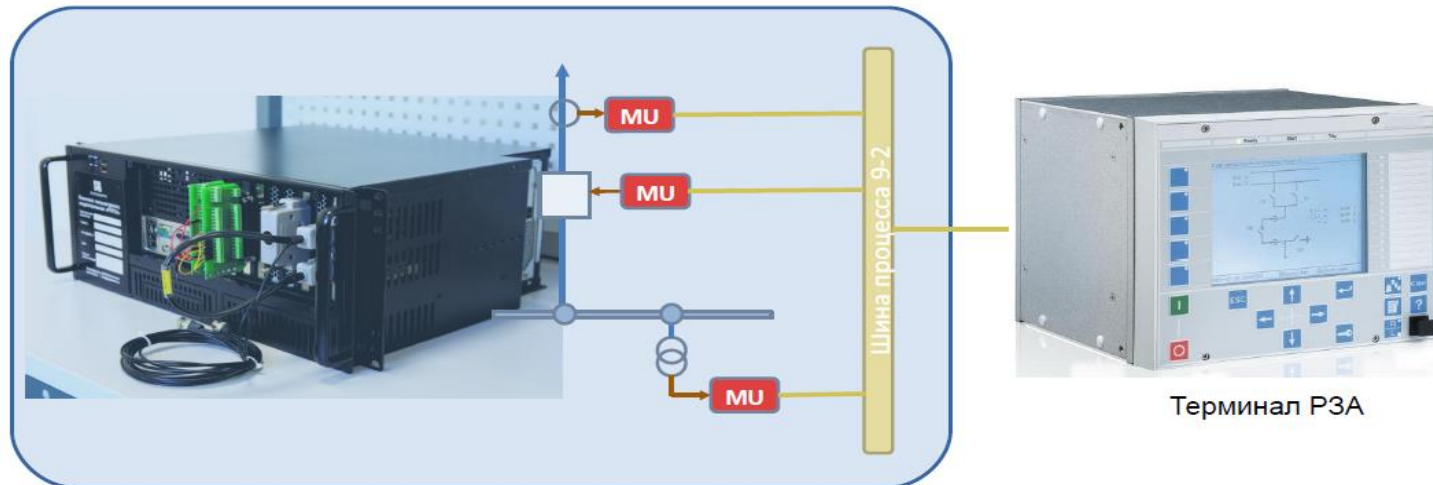
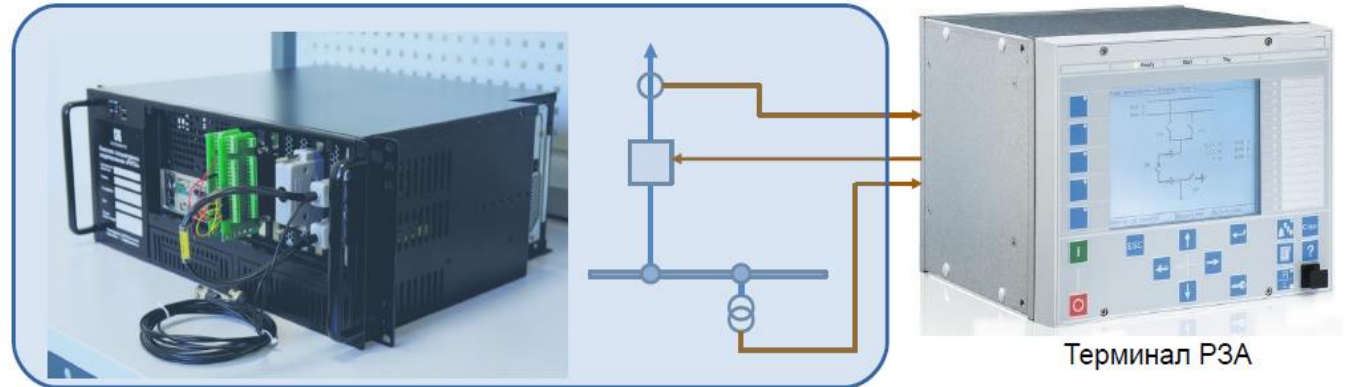
Тестирование в реальном времени на КПМ РИТМ

- Исследование функционирования компонента или полной встраиваемой системы в реальных рабочих условиях:
 - Детерминизм выполнения задач
 - Учет частоты дискретизации
 - Синхронизация задач
 - Учет работы интерфейсов
- Распространенные виды тестирования:
 - **Быстрое прототипирование** алгоритмов управления (Rapid Prototyping) Rapid Prototyping))
 - **Полунатурное моделирование** объекта управления (Rapid Prototyping) Hardware-in-the-loop, HIL))
 - Сбор данных и обработка сигналов



Способы соединения устройств

- Подключение аналоговым по цепям тока и напряжения



- Цифровой способ соединения на основе IEC61850

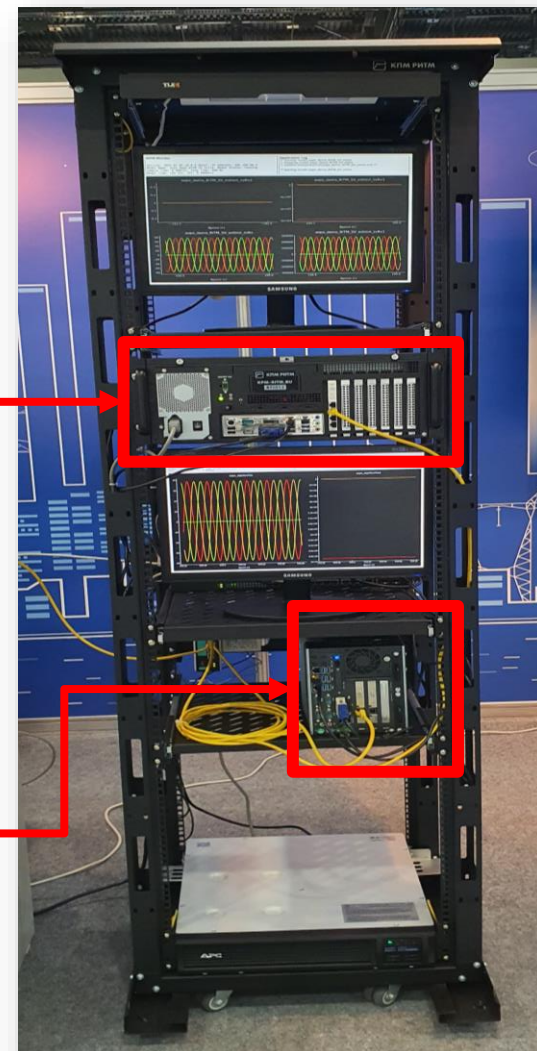
Стенд двойника цифровой ПС для испытания ПА



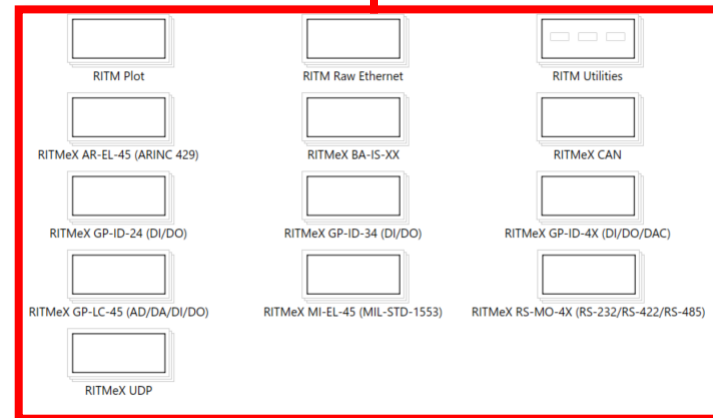
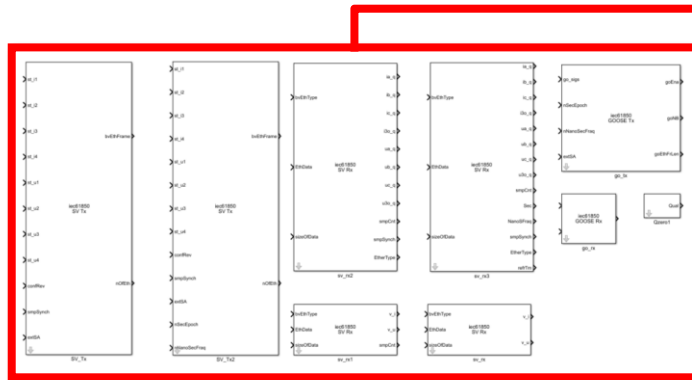
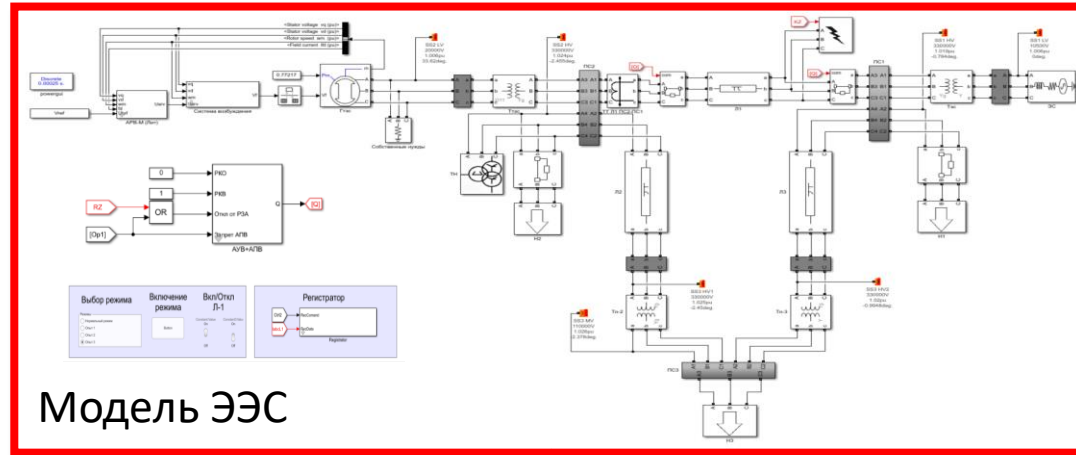
РИТМ «Стандартный»



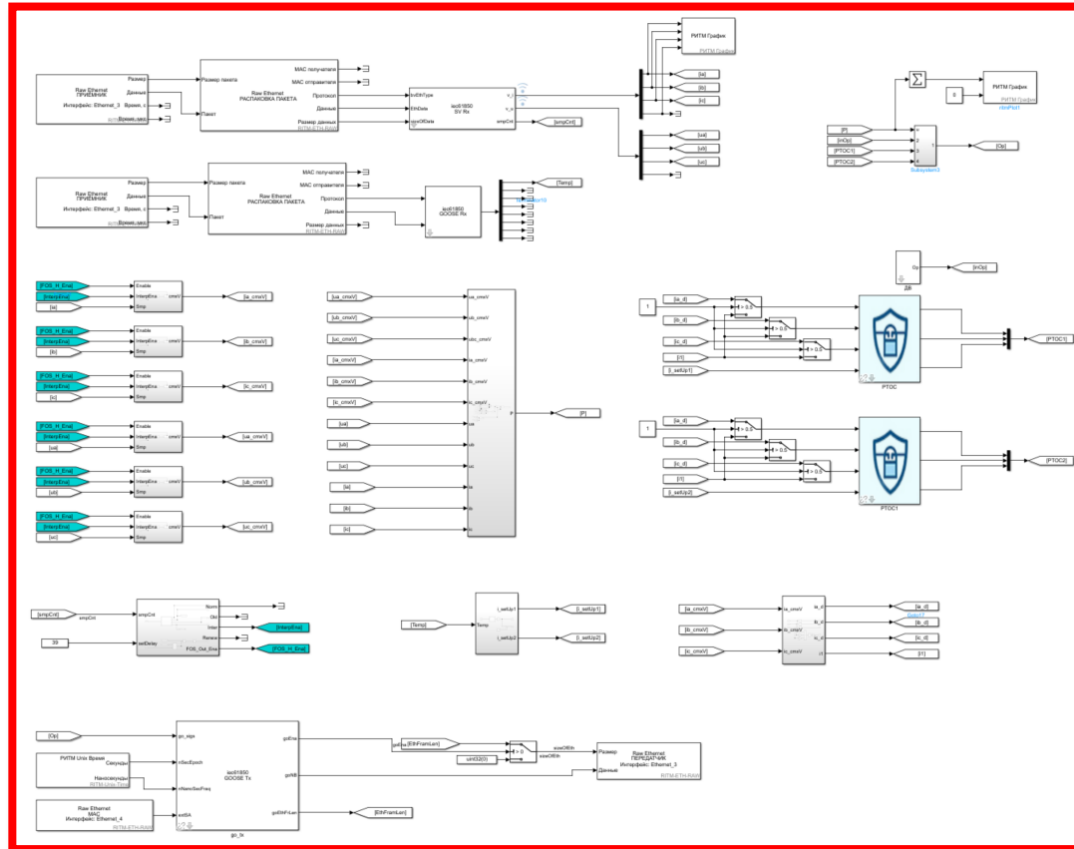
РИТМ «Мобильный»



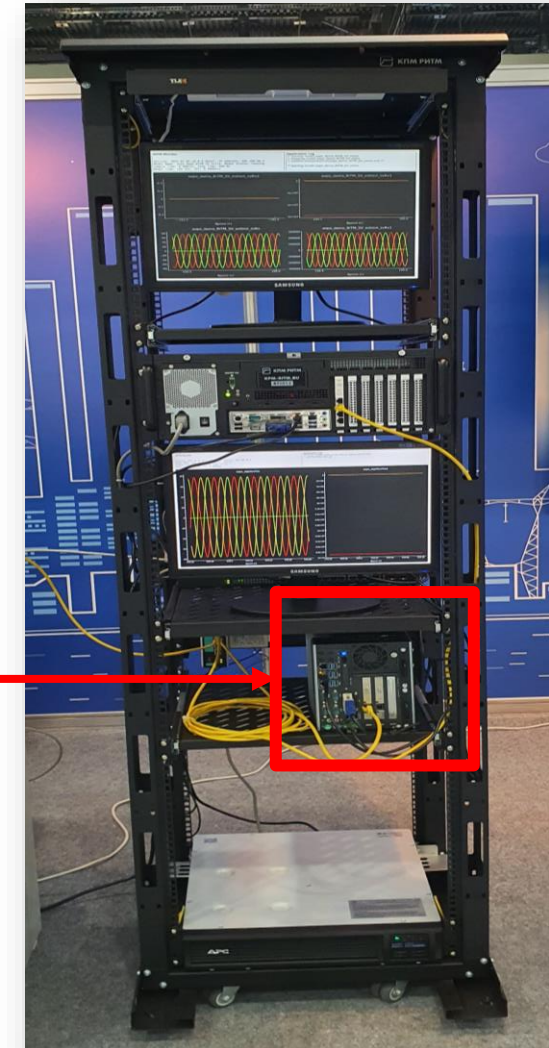
Стенд двойника цифровой ПС для испытания ПА



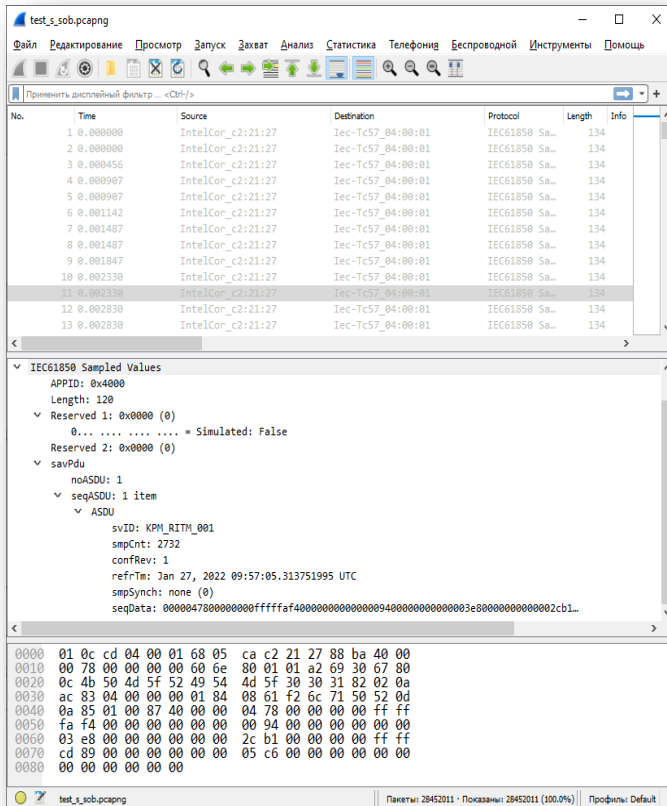
Стенд двойника цифровой ПС для испытания ПА



Разработанный алгоритм
Автоматики ограничения перегрузки оборудования



Стенд двойника цифровой ПС для испытания ПА



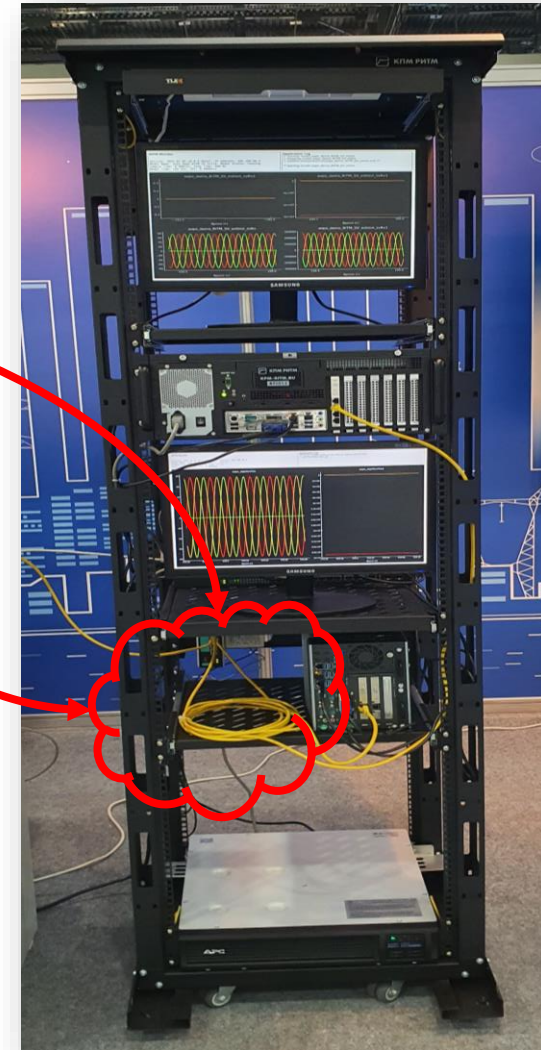
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	IntelCor_c2:21:27	Iec-Tc57_04:00:01	IEC61850 Sa...	134	
2	0.000000	IntelCor_c2:21:27	Iec-Tc57_04:00:01	IEC61850 Sa...	134	
3	0.000456	IntelCor_c2:21:27	Iec-Tc57_04:00:01	IEC61850 Sa...	134	
4	0.000907	IntelCor_c2:21:27	Iec-Tc57_04:00:01	IEC61850 Sa...	134	
5	0.000907	IntelCor_c2:21:27	Iec-Tc57_04:00:01	IEC61850 Sa...	134	
6	0.001142	IntelCor_c2:21:27	Iec-Tc57_04:00:01	IEC61850 Sa...	134	
7	0.001487	IntelCor_c2:21:27	Iec-Tc57_04:00:01	IEC61850 Sa...	134	
8	0.001487	IntelCor_c2:21:27	Iec-Tc57_04:00:01	IEC61850 Sa...	134	
9	0.001847	IntelCor_c2:21:27	Iec-Tc57_04:00:01	IEC61850 Sa...	134	
10	0.002330	IntelCor_c2:21:27	Iec-Tc57_04:00:01	IEC61850 Sa...	134	
11	0.002330	IntelCor_c2:21:27	Iec-Tc57_04:00:01	IEC61850 Sa...	134	
12	0.002830	IntelCor_c2:21:27	Iec-Tc57_04:00:01	IEC61850 Sa...	134	
13	0.002830	IntelCor_c2:21:27	Iec-Tc57_04:00:01	IEC61850 Sa...	134	

IEC61850 Sampled Values	
APPID:	0x4000
Length:	120
Reserved 1:	0x0000 (0)
0... .. = Simulated: False	
Reserved 2:	0x0000 (0)
savPdu	
noASDU:	1
seqASDU:	1 item
ASDU	
svID:	KPM_RITH_001
smpCnt:	2732
confRev:	1
refTime:	Jan 27, 2022 09:57:05.313751995 UTC
smpSynch:	none (0)
seqData:	0000047800000000fffffa400000000000009400000000000003e0000000000002cb1...

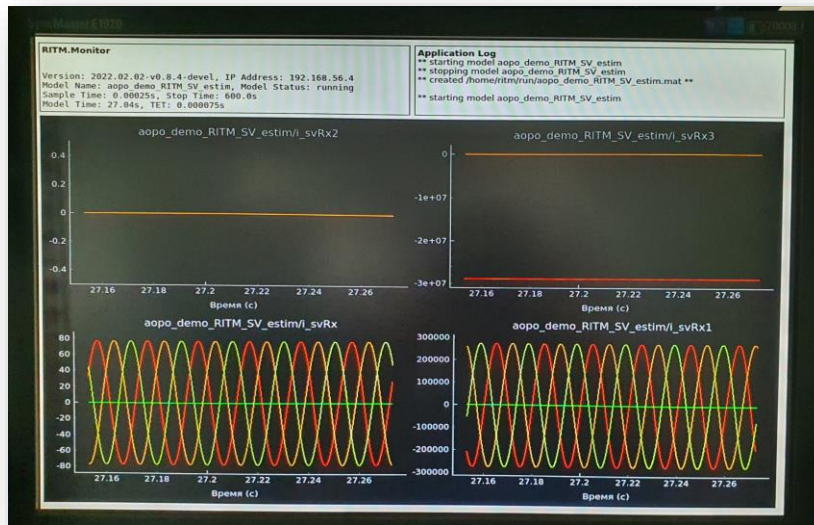
Hex	Hex	Hex	Hex	Hex	Hex	Hex	Hex	Hex	Hex
0000	01 0c cd 04 00 01 68 05	ca c2 21 27 88 ba 40 00							
0010	00 78 00 00 00 00 00 6e	80 01 01 a2 69 30 67 80							
0020	0c 4b 50 4d 5f 52 49 54	4d 5f 30 30 31 82 02 0a							
0030	ac 83 04 00 00 00 01 84	08 61 f2 6c 71 50 52 0d							
0040	0a 85 01 00 87 40 00 00	04 78 00 00 00 00 ff ff							
0050	fa f4 00 00 00 00 00 00	00 94 00 00 00 00 00 00							
0060	03 e8 00 00 00 00 00 00	2c b1 00 00 00 00 ff ff							
0070	cd 89 00 00 00 00 00 00	05 c6 00 00 00 00 00 00							
0080	00 00 00 00 00 00 00 00								

Шина процесса по IEC61850 для обмена

- Значений тока и напряжения (SV)
- Сигналов срабатывания и температуры (GOOSE)

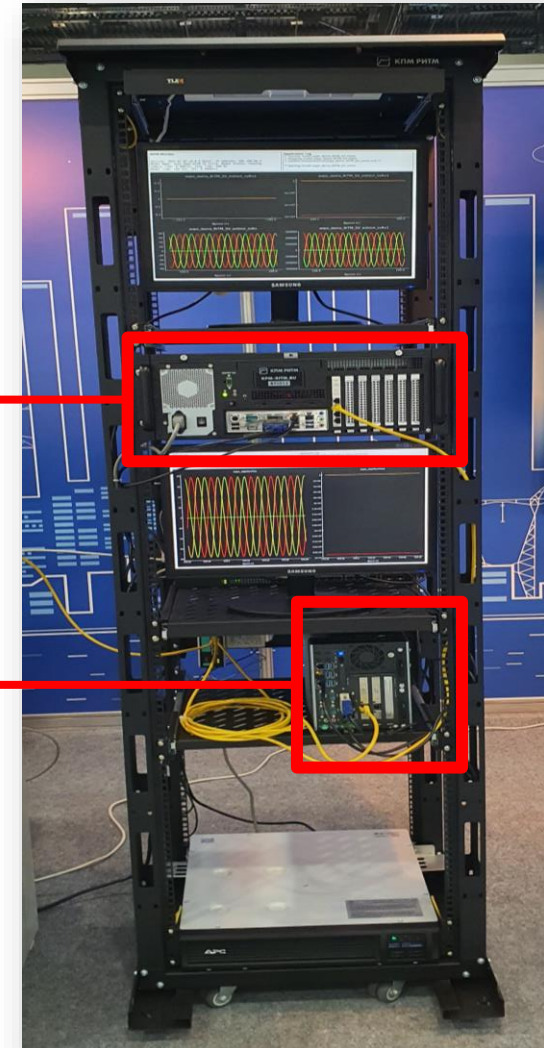
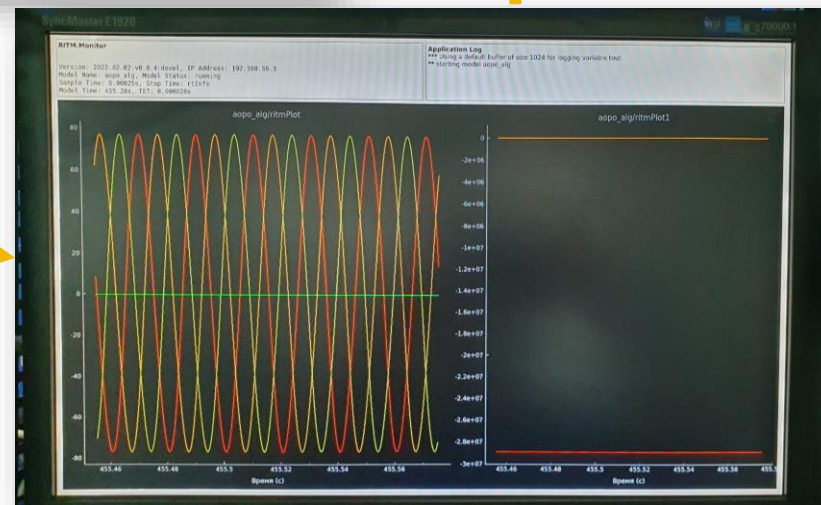


Стенд двойника цифровой ПС для испытания ПА

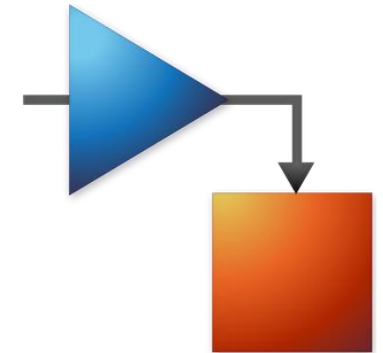
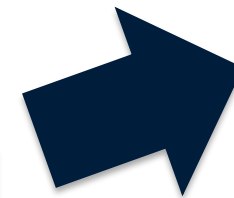
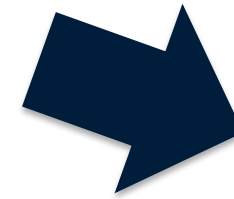
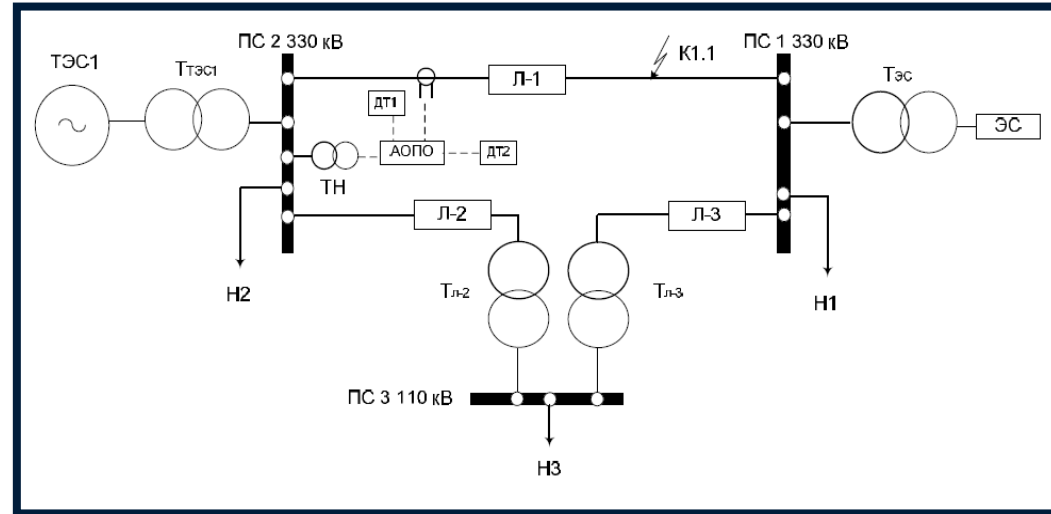
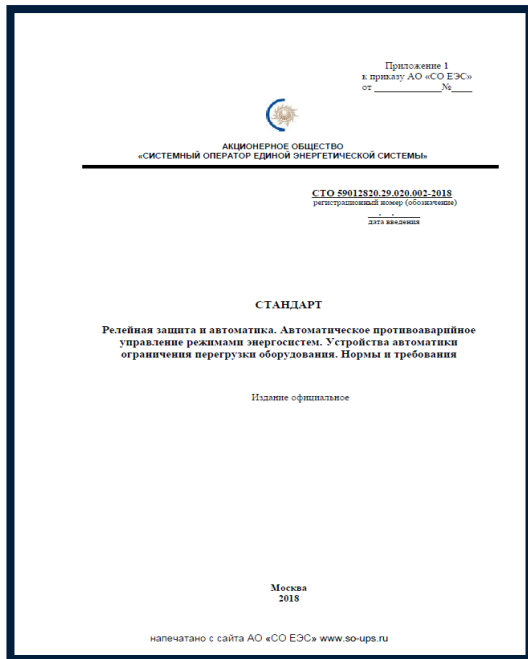


Срабатывание:
GOOSE

Токи,
напряжения,
температура:
SV, GOOSE



Тестовая модель ЭЭС



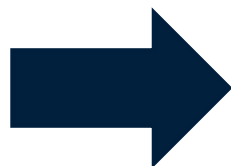
SIMULINK

Параметры АРВ синхронных генераторов тестовой модели энергосистемы					
Параметры ЛЭП тестовой модели энергосистемы					
Параметры генераторов тестовой модели энергосистемы					
Параметры трансформаторов тестовой модели энергосистемы					
Трансформатор	$S_{ном}$	$U_{ВН ном}$	$U_{НН ном}$	$R_{1г}$	$X_{1г}$
	МВА	кВ	кВ	о.е.	о.е.
ТТЭС1	550	330	20	0,003	0,1315
ТЭС	16500	330	10,5	0,001	0,378
ТЛ2	100	330	110	*	0,1
ТЛ3	100	330	110	*	0,1

Соответствие модели отраслевым стандартам

Параметр режима	Значение параметра режима по СТО
УТЭС1, кВ	20,12
РТЭС1, МВт	448,9
РЭС, МВт	15710
УЭС, кВ	10,56
УПС1, кВ	335,7
УПС2, кВ	335,7
УПС3, кВ	112,2
РН1, МВт	550,9
РН2, МВт	475,8
РН3, МВт	23,8

Load Flow Tool



Значение параметра режима в модели	Точность на РИТМ, %
20,13	0,04
448,39	0,11
609,47	-
10,52	0,4
334,91	0,24
336,39	0,21
112,32	0,11
550,93	0,005
475,82	0,003
23,81	0,001
Средняя погрешность параметров режима	0,124

Parameter Estimator

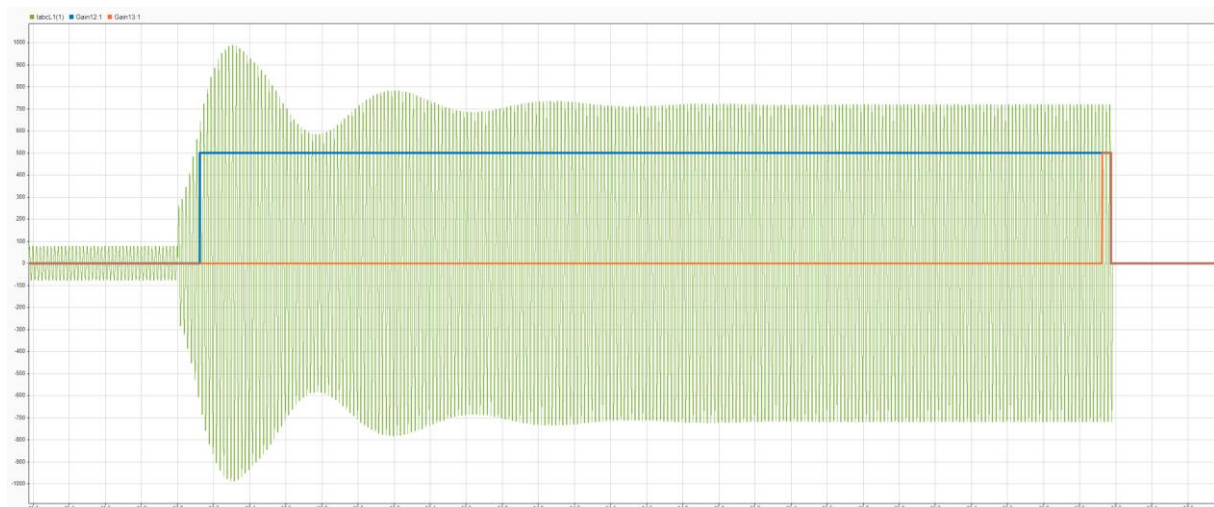


Значение параметра режима в модели	Точность на РИТМ, %
20,121	0,004
448,9	0,00016
608,91	-
10,56	0,00013
335,72	0,006
335,68	0,007
112,21	0,0096
550,9	0,0007
475,8	0,0007
23,8	0,0009
Средняя погрешность параметров режима	0,003

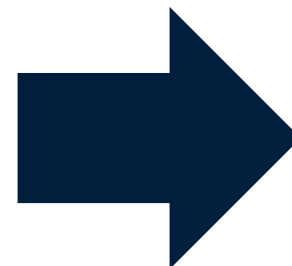
Погрешность результатов -
тысячные доли процентов

Проведение автоматического тестирования устройств

Обработка результатов автоматического тестирования на **КПМ РИТМ** с помощью программных средств



N-итераций



N-часов

Протокол автоматического тестирования

Опыт №9

Цель испытаний:

Проверка срабатывания при направлении перетока активной мощности по ЛЭП в контролируемом направлении

Настройка устройства АОПО:

Заданы исходные уставки.

Аварийное возмущение:

Отключение нагрузки Н1. Токовая нагрузка по Л-1 превышает уставку срабатывания устройства АОПО.

Корректное действие устройства АОПО:

Срабатывание через заданную выдержку времени с выдачей УВ.

Результаты серии испытаний

Всего тестов было выполнено: 10

Всего было затрачено времени на выполнение набора тестов: 200.012624 секунд.

Результаты работы 1 ступени:

Всего правильных пусков: 10.000000

Всего случаев неправильного пуска: 0.000000

Всего правильных срабатываний: 9.000000

Всего случаев неправильного срабатывания: 1.000000

Испытания с неправильным срабатыванием ступени:

• номер испытания: 6 описание: некорректное срабатывание

Результаты работы 2 ступени:

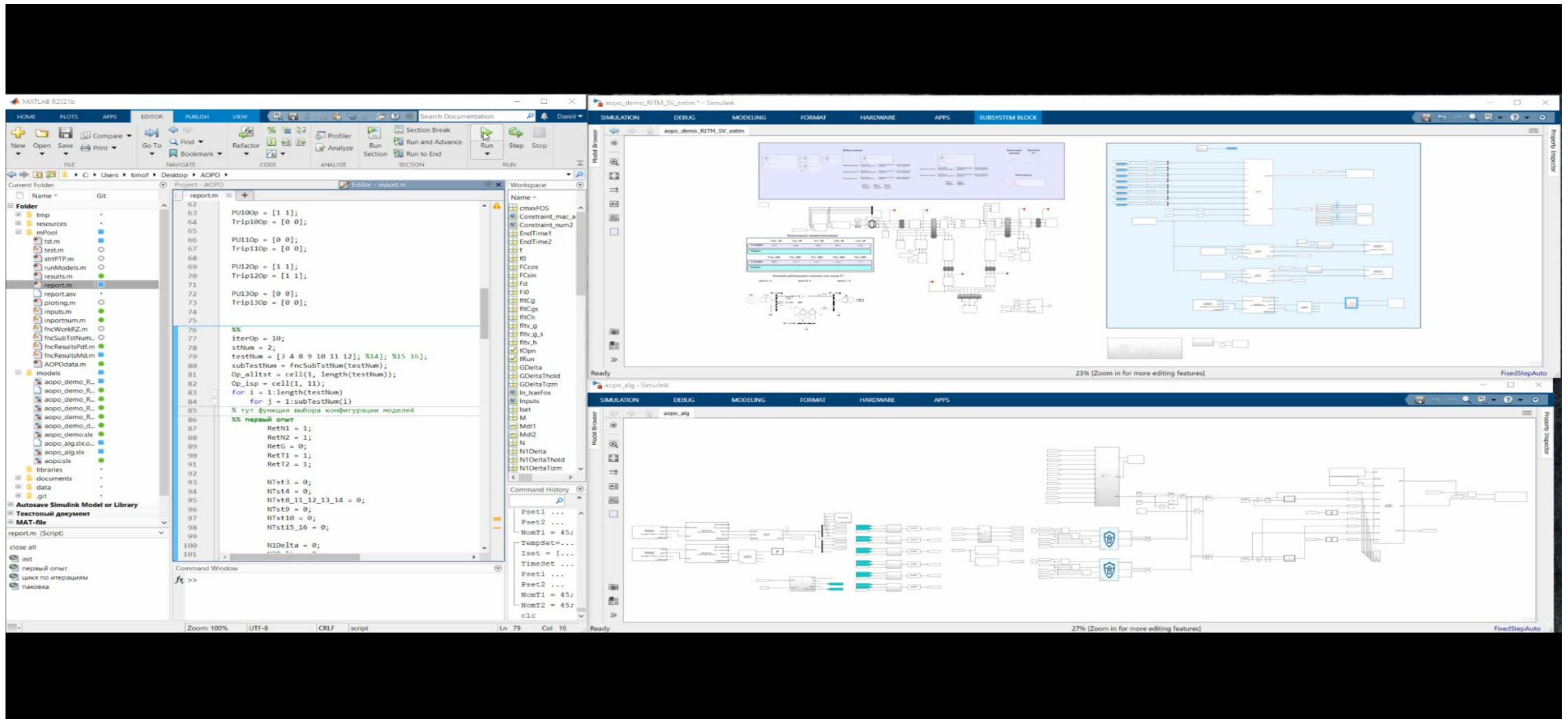
Всего правильных пусков: 10.000000

Всего случаев неправильного пуска: 0.000000

Всего правильных срабатываний: 10.000000

Всего случаев неправильного срабатывания: 0.000000

Проведение автоматического тестирования устройств



Выводы

- Возможности среды моделирования позволяют реализовывать **точные модели электроэнергетических объектов**
- Широкие возможности по исследованиям алгоритмов в **динамике** и построение **гибких моделей для испытаний**
- **КПМ РИТМ**, в качестве основного инструмента разработчика цифровой релейной защиты и противоаварийной автоматики, покрывает все стадии процесса вплоть до **сертификационных испытаний**.

tech@exponenta.ru
exponenta.ru



ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Спасибо за внимание!
Задавайте Ваши вопросы