



Научно-технический центр
Единой энергетической системы

Использование экспериментальной базы АО «НТЦ ЕЭС» для испытаний и настройки устройств БАР в схемах электропитания промышленных предприятий

Казань, 2023



Содержание

1. Актуальность проблемы
2. Принцип действия современных устройств БАР, необходимость выполнения оценки корректности функционирования
3. Экспериментальная база АО «НТЦ ЕЭС» для испытаний и настройки устройств БАР
4. Выполненные работы в части испытаний и настройки устройств БАР с использованием экспериментальной базы
5. Перспективные направления работ



Актуальность

Основными причинами нарушения электроснабжения потребителей являются короткие замыкания в схемах внешнего и внутреннего электроснабжения.

В условиях существенного износа электросетевого оборудования с каждым годом возрастает число провалов напряжения, обусловленных возникновением коротких замыканий, последствия которых приводят к значительным экономическим ущербам.

Традиционно для борьбы с перерывами электроснабжения применяются устройства автоматического ввода резерва (АВР), которые выполняют переключение нагрузки с аварийной секции шин на резервную по условию снижения напряжения.

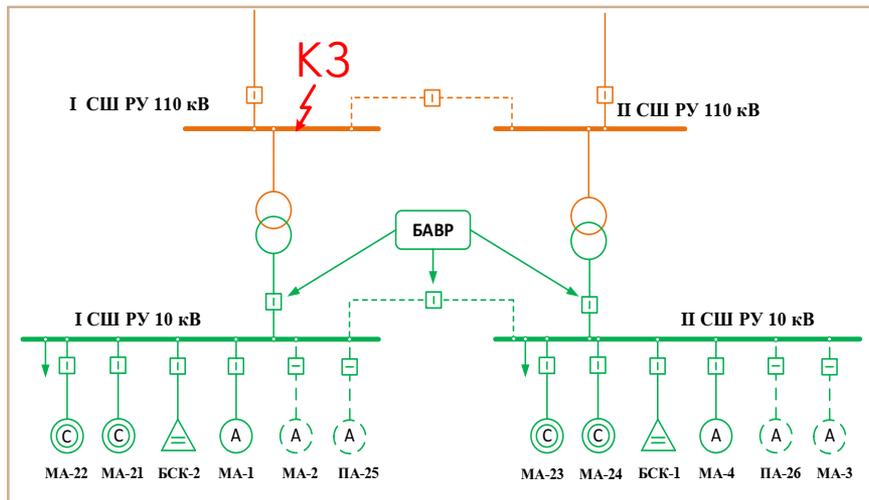
Проблема наиболее актуальна для предприятий, специализирующихся на добыче, транспортировке и переработке нефти и газа, металлургических предприятий, предприятий водоснабжения и водоотведения и других.





Принцип действия устройств БАВР

Время действия устройств АВР может достигать нескольких секунд, что оказывается недопустимым при необходимости сохранения непрерывности сложных технологических процессов промышленных предприятий. Время действия более совершенных устройств быстрого действия автоматического ввода резерва (БАВР) насчитывает десятки миллисекунд. Устройства БАВР по сравнению с устройствами АВР содержат существенно более сложные алгоритмы и пусковые органы, контролирующие все основные параметры электроэнергетического режима на питающих вводах и позволяющие минимизировать возмущающее действие на электрооборудование потребителя.



Типовая работа устройства БАВР при аварийном возмущении со стороны питающей электрической сети:

- определение повреждённого ввода и своевременное отключение соответствующего вводного выключателя;
- своевременное включение секционного выключателя;
- возврат к исходной схеме при восстановлении электроснабжения.

В реальных условиях эксплуатации переходный процесс характеризуется **сложным изменением параметров электрического режима**, что требует точных и своевременных управляющих воздействий.



Современные устройства БАРВ

Современные устройства БАРВ являются сложными микропроцессорными устройствами. Существует ряд российских производителей, предлагающих различные технические и алгоритмические решения, среди которых:

- ООО «НТЦ Механотроника»
- ООО НПП «ЭКРА»
- ООО «НПП Бреслер»
- АО «ЧЭАЗ»
- ООО «Релематика»

В процессе эксплуатации регистрируются факты некорректной работы устройств БАРВ. Как правило, у разработчиков отсутствует адекватная экспериментальная база, позволяющая выполнить полномасштабную проверку алгоритмов в условиях, близких к условиям эксплуатации, а также отсутствует опыт моделирования эксплуатационных и аварийных режимов сложных электроэнергетических систем.

Требуется проверка устройств на соответствие предъявляемым и заявленным требованиям.





Экспериментальная база АО «НТЦ ЕЭС»

	1. Моделирование с использованием цифро-аналогово-физического комплекса (физическая модель)	2. Моделирование с использованием Real Time Digital Simulator (ПАК RTDS)	3. Цифровое моделирование (RastrWin/Rustab, Eurostag, Matlab и др.)
Размерность схемы для моделирования	Ограничена – определяется составом оборудования	Ограничена – определяется конфигурацией и количеством стоек	Не ограничена
Модели элементов энергосистем	Физические – допущения отсутствуют	Цифровые – с учётом допущений математического описания элементов	Цифровые – с учётом допущений математического описания элементов
Возможности моделирования элементов ЭС	Ограничены – определяется техническими возможностями ЦАФК	Не ограничены – существует возможность пользовательского моделирования	Не ограничены – существует возможность пользовательского моделирования
Моделирование в реальном времени	Не ограничено	Ограничено – режим реального времени обеспечивается до шага интегрирования 50–60 мкс	Отсутствует
Взаимодействие с внешними устройствами (ПА, РЗА, АРВ и т. д.)	Не ограничено	Ограничено – определяется возможностями оборудования RTDS по выдаче и приёму аналоговых сигналов	Отсутствует
Системы изменения и выдачи на внешние устройства аналоговых сигналов	Реальные ТТ и ТН с характеристиками используемых в энергосистемах	Модели ТТ и ТН, усилители сигналов	Отсутствуют
Повторяемость экспериментов	Отсутствует	Полная	Полная

Начиная с 2017 года по выполняются работы по испытаниям, оценке корректности функционирования и настройке устройств БАРП с использованием возможностей экспериментальной базы АО «НТЦ ЕЭС»



1. Испытания устройств БАВР с использованием ЦАФК

Технические характеристики ЦАФК

- более 60 моделей синхронных машин мощностью 1-30 кВт;
- более 120 моделей настраиваемых линий электропередачи и трансформаторов;
- более 70 моделей асинхронных машин мощностью 0.5-20 кВт;
- более 100 нагрузочных сопротивлений мощностью 0.5-15 кВт;
- связь с ШБМ;
- модели различных устройств регулирования (регуляторы возбуждения, регуляторы скорости).

Зал управления



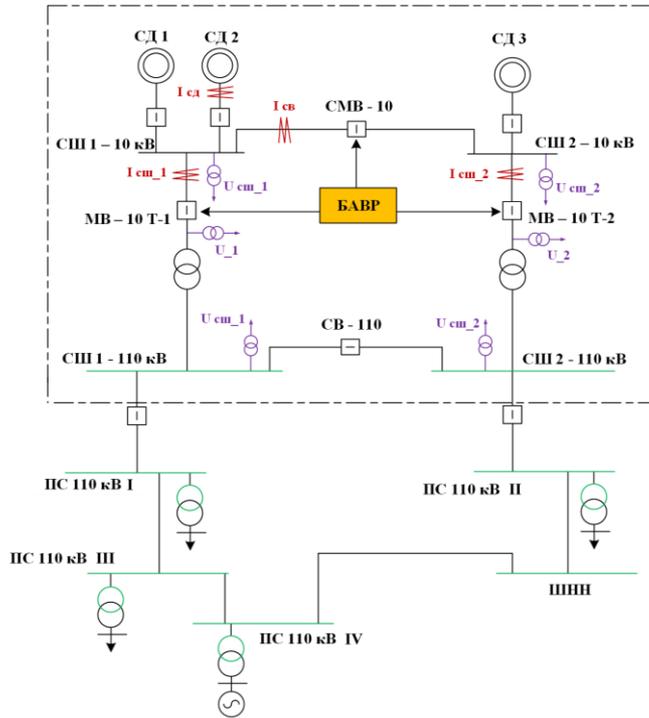
Машинный зал ЦАФК с реальным оборудованием различной мощности





1. Испытания устройств БАВР с использованием ЦАФК

Создание тестовой схемы



Тестовая схема физической модели

- Создана тестовая схема для испытаний устройств БАВР (для пяти производителей).
- Разработка тестовой схемы выполнена на основе исходных данных реального энергообъекта, предоставленных Заказчиком.
- Предусмотрено воспроизведение аварийных возмущений в схеме внешнего электроснабжения и со стороны нагрузки.
- Предусмотрены различные схемно-режимных условия работы оборудования.



1. Испытания устройств БАВР с использованием ЦАФК

Разработка программы испытаний

Разработана единая программа для всех испытываемых устройств. Выполнялась проверка устройств БАВР на соответствие техническим требованиям. Программа:

- разработана на основе нормативно-технических требований и исходных данных, предоставленных заказчиком;
- включала 28 экспериментов;
- обеспечивала выполнение проверки функционирования устройств БАВР при технологических нарушениях, вызванных внезапными отключениями линий электропередачи;
- обеспечивала выполнение проверки функционирования устройств БАВР при технологических нарушениях, вызванных короткими замыканиями различного вида и длительности;
- включала критерии оценки корректности работы устройств БАВР, сформированные на основе нормативных технических требований;
- согласована заказчиком.



1. Испытания устройств БАВР с использованием ЦАФК

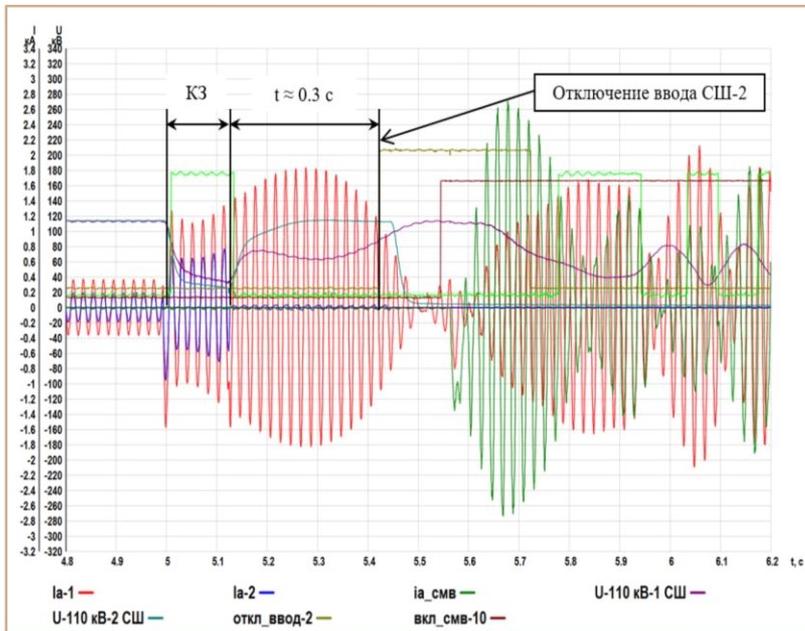
Результаты испытаний

- В ходе испытаний были выявлены нарушения в функционировании устройств.
- Установлено, что ни одно из представленных устройств **не удовлетворяет** согласованным критериям и **не соответствует** техническим требованиям.
- Осциллограммы в цифровом формате были предоставлены разработчикам БАВР.
- Повторные испытания устройств БАВР позволили большинству разработчиков выполнить успешную коррекцию алгоритмов и обеспечить правильное и эффективное функционирование устройств.

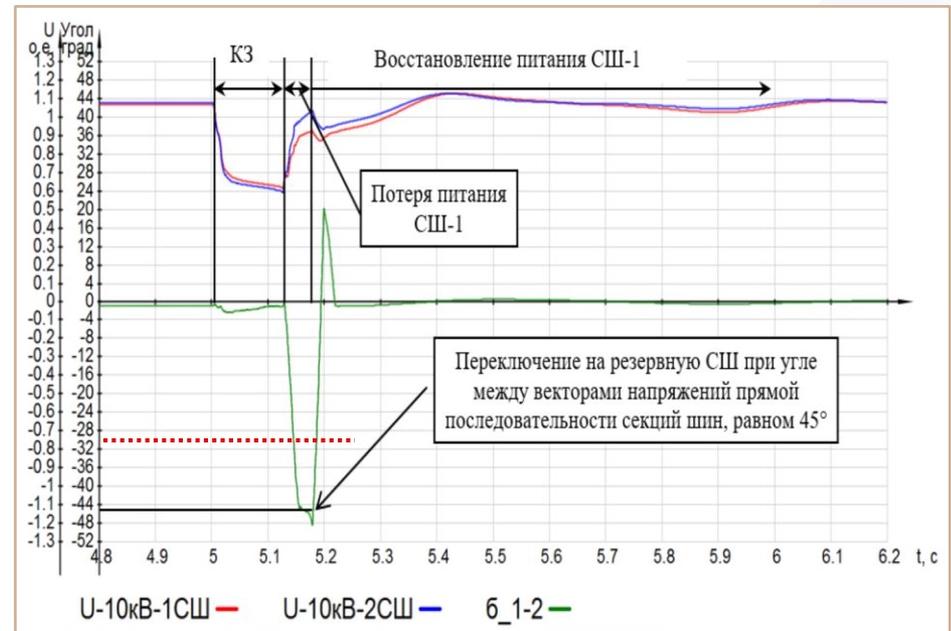


1. Испытания устройств БАВР с использованием ЦАФК

Выявленные характерные нарушения функционирования



необеспечение требуемого быстродействия при потере питания повреждённого ввода

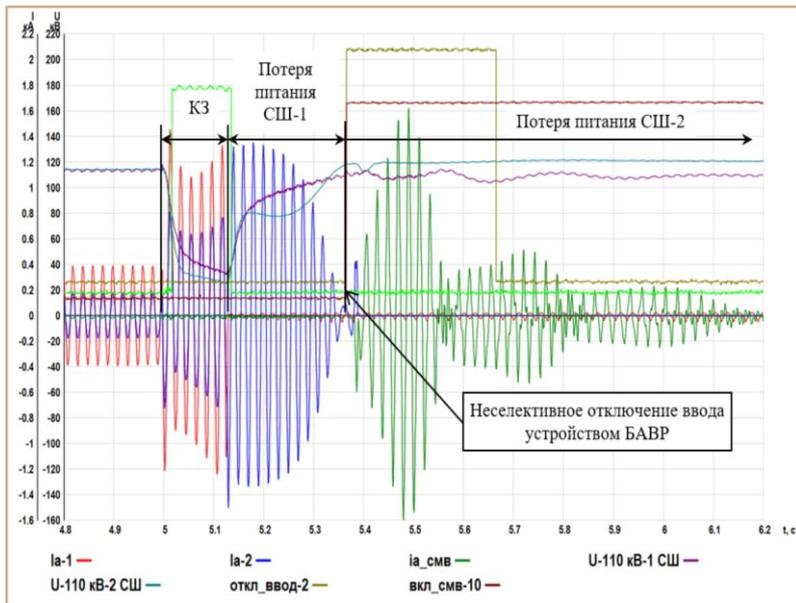


превышение допустимого угла между векторами напряжений повреждённой и резервной секций шин при замыкании секционного выключателя

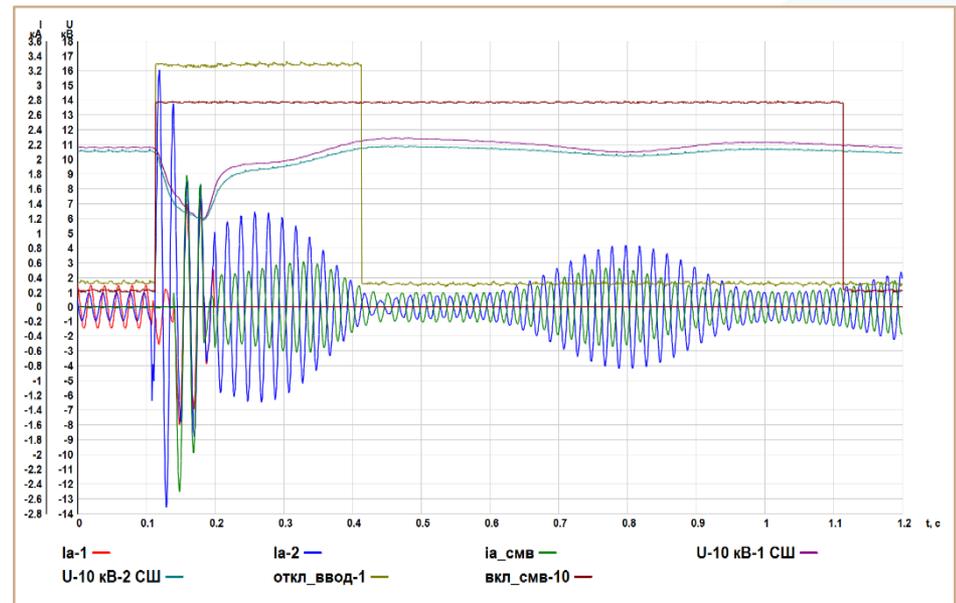


1. Испытания устройств БАВР с использованием ЦАФК

Выявленные характерные нарушения функционирования



неселективное отключение вводов и включение неповреждённой секции шин на секцию, потерявшую питание



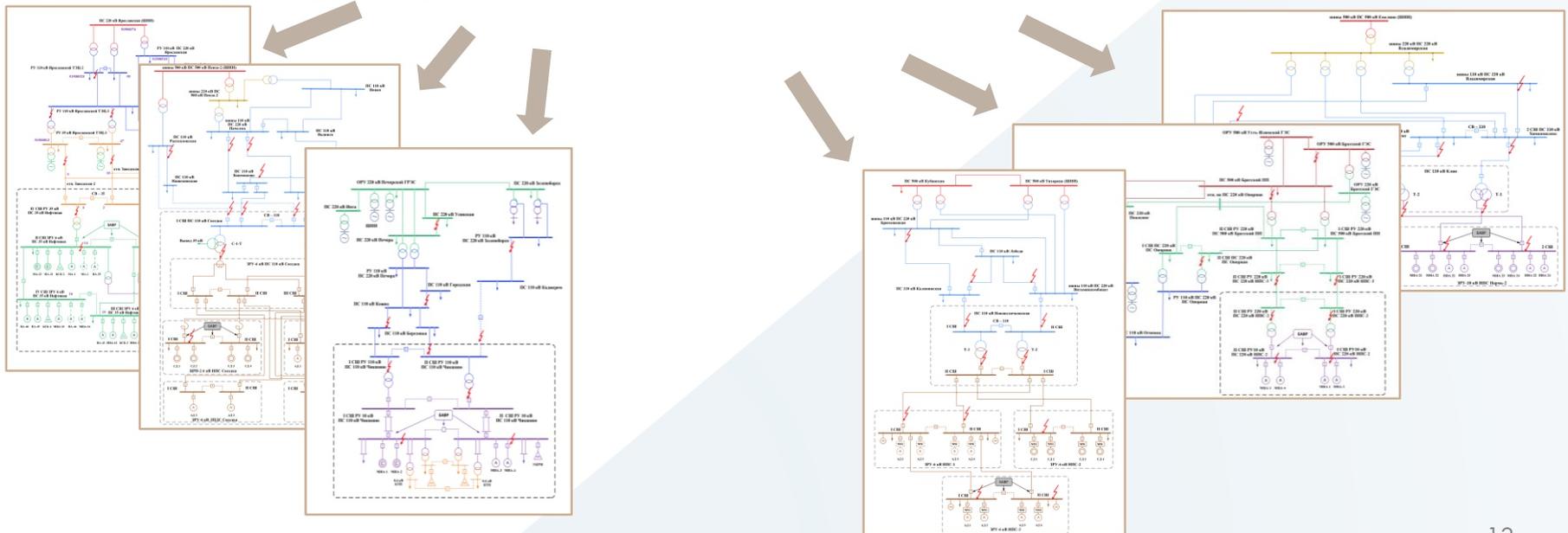
ложные срабатывания при проходящих КЗ в сети 10 кВ (с другой стороны вводного выключателя)



2. Испытания устройств БАПВ с использованием Real Time Digital Simulator (RTDS)



Рациональный путь эффективного выбора параметров настройки устройства БАПВ для **конкретного объекта** – проверка и корректировка (при необходимости, выявленной в процессе проверки) этих параметров с использованием программно-аппаратного комплекса реального времени в математической модели схемы внешнего электроснабжения объекта.





2. Испытания устройств БАПР с использованием Real Time Digital Simulator (RTDS)

- Созданы математические модели шести реальных объектов, на которых планировалась установка устройств БАПР.
- Разработаны индивидуальные программы испытаний для каждого объекта.
- Учтено наличие нагрузки различного типа конкретного объекта – синхронные и асинхронные электродвигатели с характеристиками насосного оборудования.
- Учтено наличие разветвлённой сложной схемы внешнего электроснабжения объекта и множество схемно-режимных условий и аварийных возмущений.
- В ходе испытаний разработчики устройств БАПР выполняли настройку алгоритмов под конкретный объект.

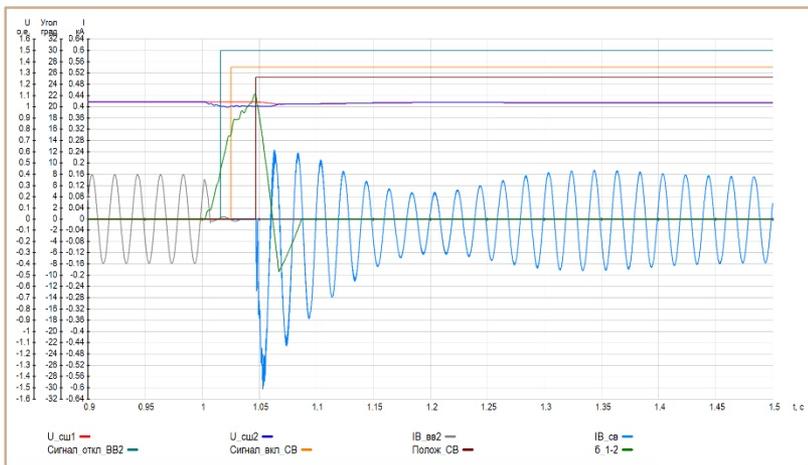


2. Испытания устройств БАПР с использованием RTDS

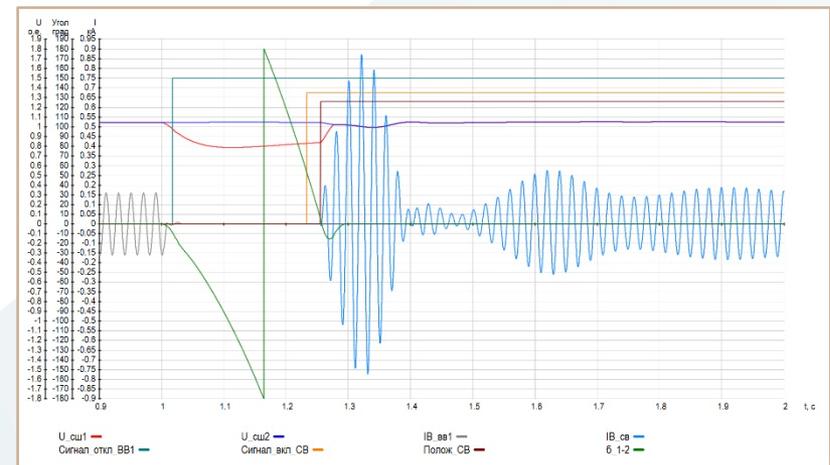
Недостатки в функционировании

Выявлено, что при выполнении настройки существующих устройств БАПР под конкретный объект не всегда удаётся должным образом учесть возможное влияние на переходный процесс фактических характеристик нагрузки. В некоторых случаях возможны включения секционного выключателя с проворотом(ов), которые не всегда обоснованы. Замыкание секционного выключателя после проворота(ов) даже с нулевым значением относительного угла между напряжениями секций шин может иметь негативное влияние на результирующую устойчивость электродвигательной нагрузки.

Одинаковый алгоритм функционирования БАПР



Потеря питания асинхронного электродвигателя 2 МВт



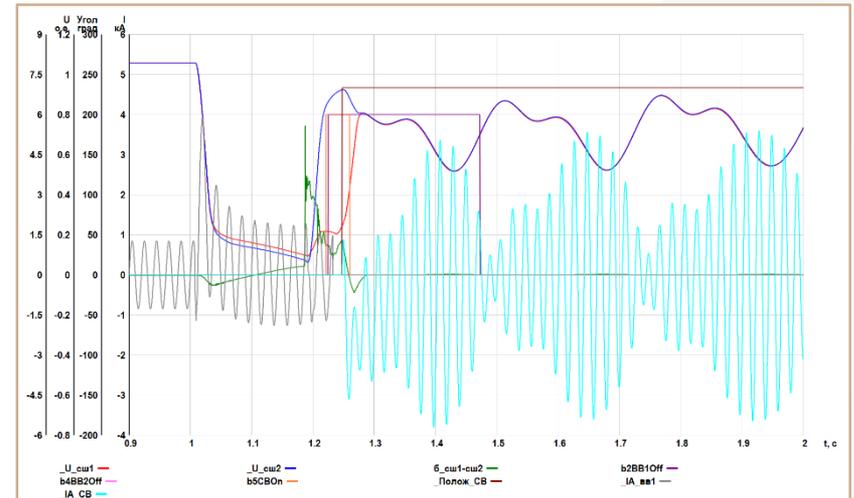
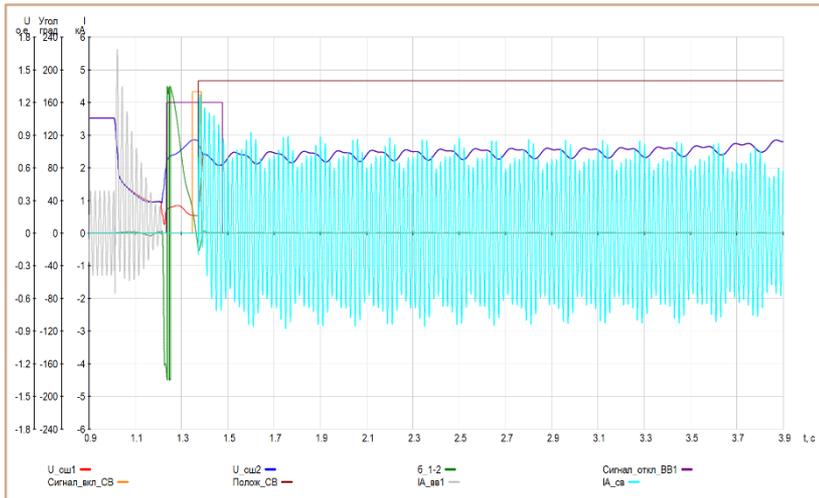
Потеря питания синхронного электродвигателя 2 МВт



2. Испытания устройств БАВР с использованием RTDS

Недостатки в функционировании

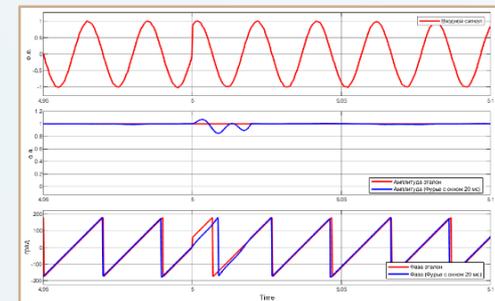
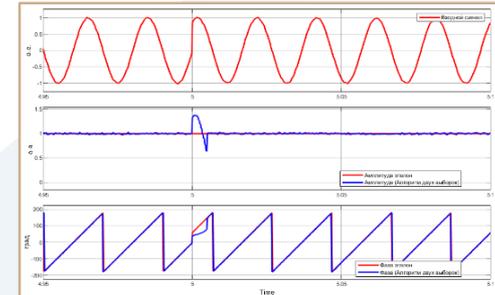
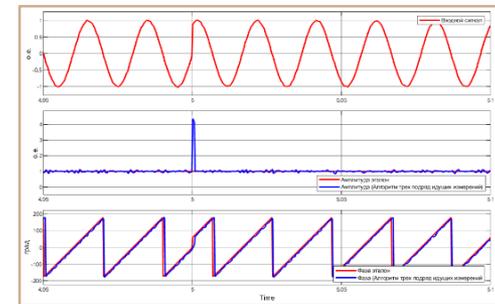
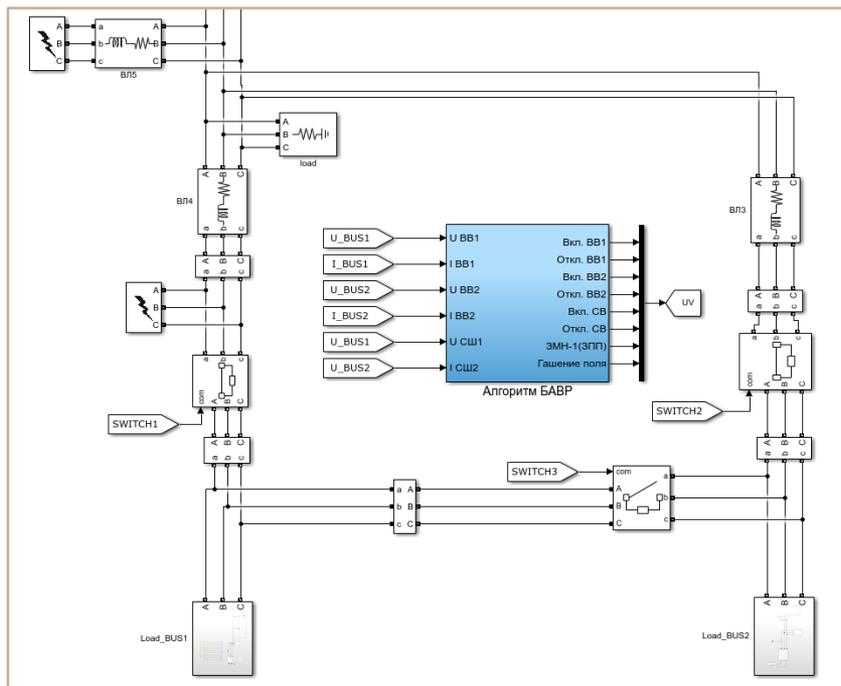
Установлено, что существует возможность возникновения нарушения устойчивости электродвигательной нагрузки даже в условиях формирования управляющих воздействий, которые соответствуют принятым требованиям. Необходима дальнейшая работа по совершенствованию теоретических обоснований алгоритмических решений, используемых в устройствах БАВР.



Формирование управляющих воздействий существующих устройств БАВР направлено на сверхбыстрое переключение питания без учёта итогового влияния на сохранение результирующей устойчивости электродвигательной нагрузки

3. Цифровое моделирование

В настоящее время ведутся исследования, направленные на разработку универсального алгоритма БАР с использованием цифрового моделирования. Цифровое моделирование позволяет выполнить оценку корректности предлагаемых решений на ранних стадиях разработки алгоритма. При этом отсутствуют ограничения по размерности схемы и детализации алгоритма функционирования.



Оценка быстродействия различных алгоритмов измерительных органов



Перспективные направления работ в повышении надёжности электроснабжения с использованием устройств БАВР

Совершенствование требований к устройствам БАВР:

уточнение нормативных характеристик, используемых при оценке корректности функционирования устройств БАВР

Разработка универсального алгоритма функционирования:

обеспечение прозрачности функционирования устройства, возможность централизованного совершенствования алгоритма при выявлении случаев некорректной работы

Настройка устройств БАВР под конкретный объект под ключ:

учёт специфики функционирования конкретного объекта (состав и характеристики нагрузки, особенности схемы внешнего электроснабжения), разработка методики настройки

Мониторинг корректности функционирования устройств БАВР:

формирование строгих математических критериев выявления некорректной работы в условиях эксплуатации



Использование экспериментальной базы АО «НТЦ ЕЭС»

для испытаний и настройки устройств БАР в схемах электроснабжения промышленных предприятий

Функции

Осуществление испытаний и настройки устройств как в условиях тестовой схемы, так и в условиях модели определённого объекта.

Реализация

Выполнение полного комплекса работ под ключ. Разработка:

- моделей систем электроснабжения и нагрузки промышленных предприятий;
- программ испытаний;
- требований к алгоритмам функционирования;
- алгоритмов функционирования устройств.

Эффект

Оценка корректности работы устройств.

Предложения и рекомендации по совершенствованию алгоритмов.

Повышение общей надёжности функционирования объектов промышленных предприятий.



Научно-технический центр
Единой энергетической системы

Благодарю за внимание!

АО «Научно-технический центр Единой энергетической системы»

Россия, 194223, г. Санкт-Петербург, ул. Курчатова, д. 1, лит. А,
этаж 2, офис 202

Телефон: +7 (812) 297-54-10; факс: +7 (812) 552-62-23

E-mail: ntc@ntcees.ru

ntcees.ru