



«О СИСТЕМЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ИНЕРЦИИ КАК СРЕДСТВЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ ИНВЕРТОРНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ВОЗМУЩЕНИЯХ ВО ВНЕШНЕЙ СЕТИ »

Насыров Ринат Ришатович,
зам.зав. кафедры ЭЭС, НИУ «МЭИ», к.т.н., доцент

Бурмейстер Максим Витальевич,
аспирант, ассистент кафедры ЭЭС, НИУ «МЭИ»

Давыдов Андрей Владимирович,
Начальник управления ввода объектов в
эксплуатацию
ООО «Интер РАО – Инжиниринг», к.т.н.



Увеличение доли генерации на основе ВИЭ в существующих энергосистемах приводит к следующим проблемам:

- 1) относительное снижение инерционности системы;
- 2) ухудшение условий устойчивости электроэнергетической системы;
- 3) увеличение амплитуды колебания частоты и напряжения в узлах сети;
- 4) наличие гармонических колебаний напряжения и тока.

Основными типами ВИЭ являются СЭС и ВЭС. Все СЭС и современные ВЭУ IV типа подключаются к ЭЭС при помощи силовой преобразовательной техники (инверторов). Это не позволяет такой генерации иметь инерционность, как у синхронных машин.

Проблема исследования

Общемировые инвестиции в создание новых мощностей за период 2005 – 2018

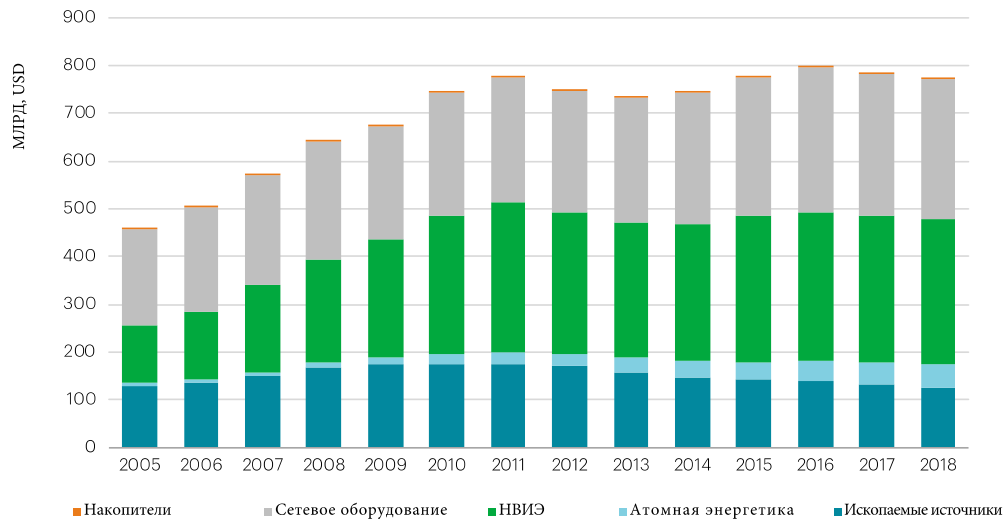


Рисунок 1. Мировые инвестиции в создание объектов энергетики по годам

Global renewable energy capacity investment, 2004 to 2019

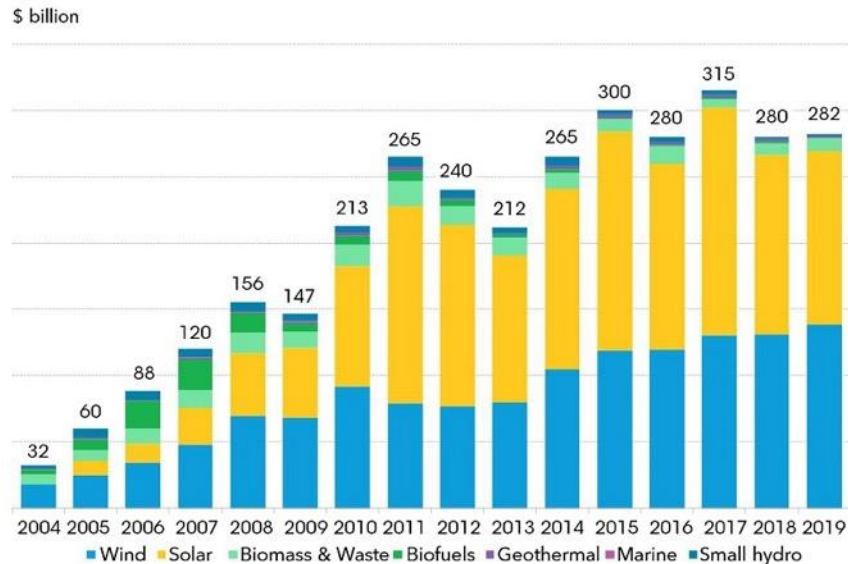


Рисунок 2. Мировые инвестиции в ВИЭ по технологиям

Проблема исследования

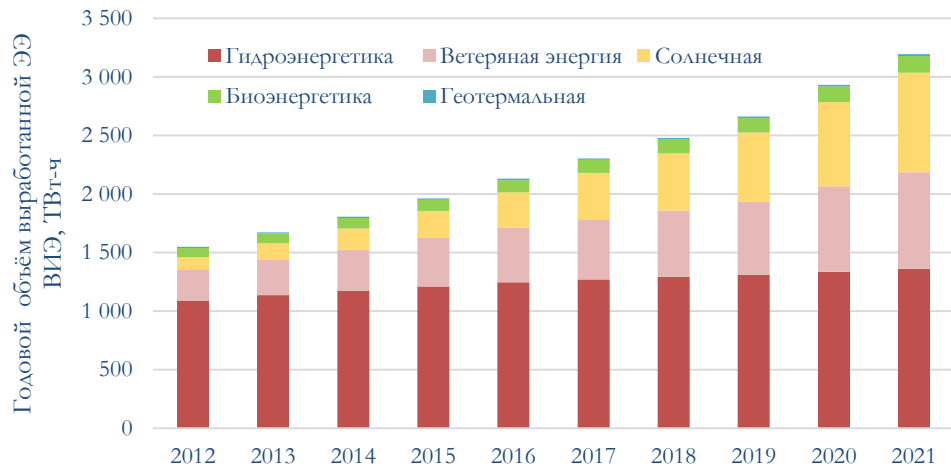


Рисунок 3. Выработка электроэнергии на ВИЭ в мире на конец 2021 г.

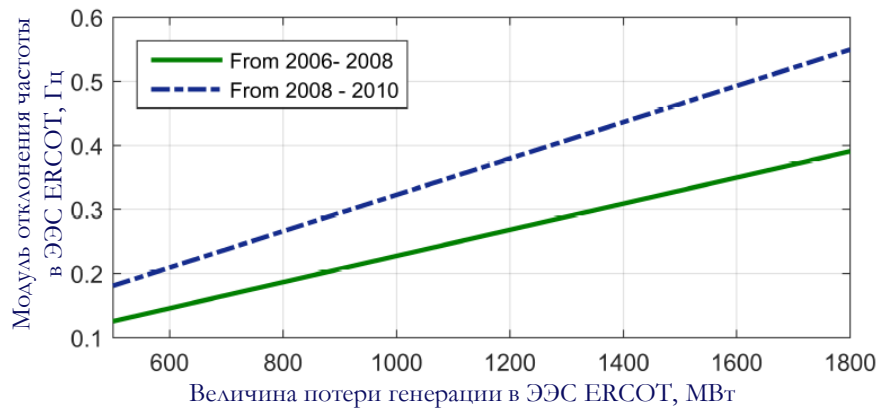


Рисунок 4. Изменение частоты в *ERCOT* за два периода времени при одинаковом уровне потерь генерации

Актуальность исследования

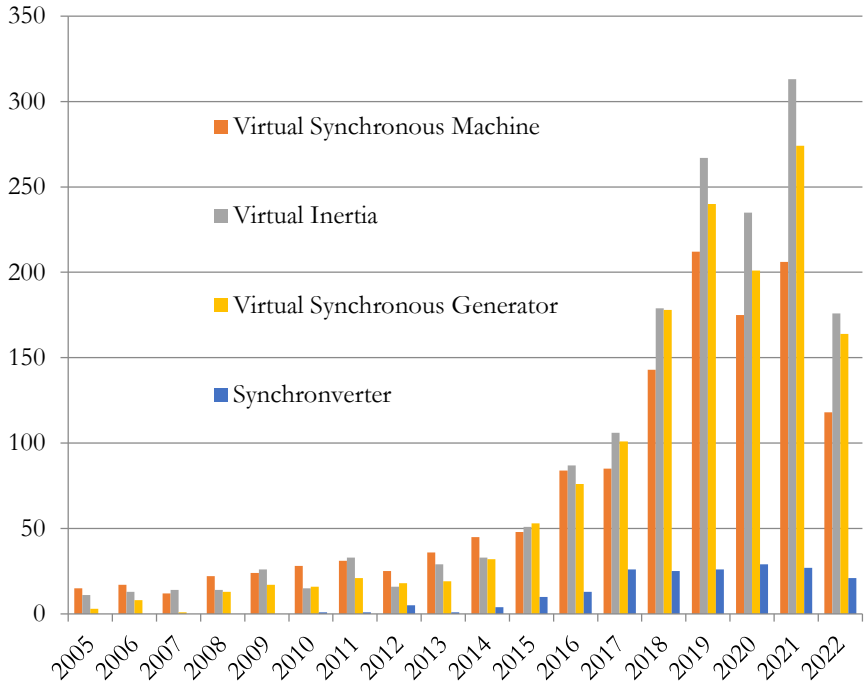


Рисунок 5. Анализ публикационной активности по СВИ

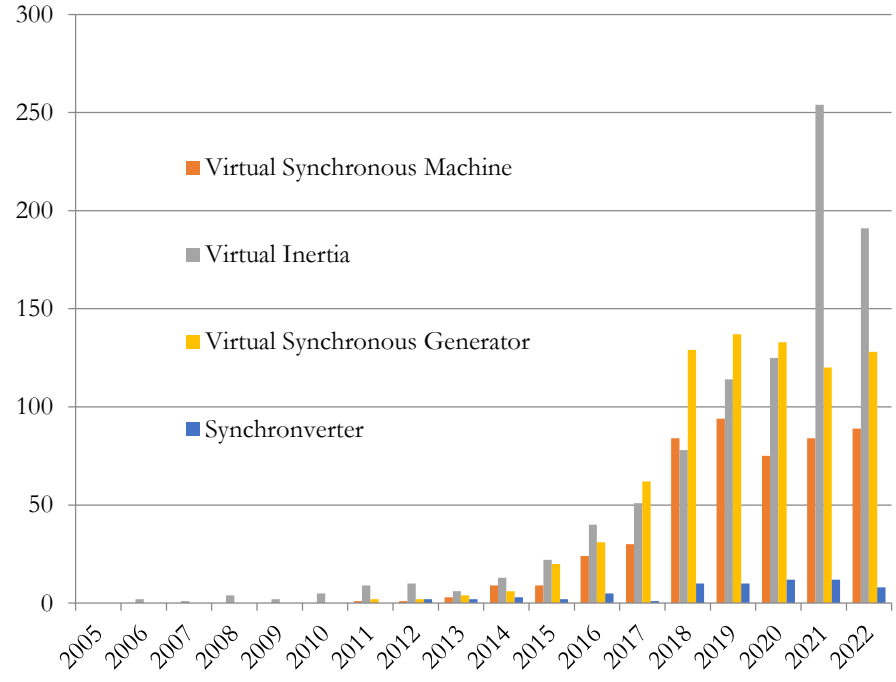


Рисунок 6. Анализ патентной активности по СВИ

Актуальность исследования

Научные организации, публикующие исследования по данной теме

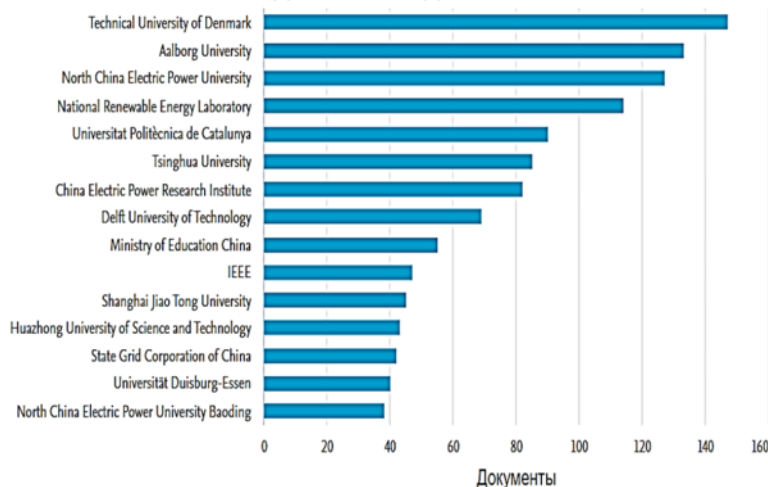


Рисунок 7. Публикационная активность



Заключение РАН

№ 1382022/1022072000017-8

Заключение РАН на проект тематики научного исследования

Заключение федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук» по проектам тематики научных исследований, включаемых в планы научных работ научных организаций и образовательных организаций высшего образования, осуществляющих научные исследования за счет средств федерального бюджета, проектам планов научных работ научных организаций и образовательных организаций высшего образования, осуществляющих научные исследования за счет средств федерального бюджета, в части научной и научно-технической деятельности

Наименование организации, осуществляющей научные исследования за счет средств федерального бюджета - заявителя тематики научных исследований (далее - научная тема)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

Наименование учредителя либо государственного органа или организации, осуществляющих функции и полномочия учредителя

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Наименование научной темы

Исследования проблем устойчивости электроэнергетических систем с возобновляемыми источниками энергии и системными виртуальной инерции

Код (шифр) научной темы, присвоенной учредителем (организацией)

FSWF-2022-0007

Срок реализации научной темы

Год начала (для продолжающихся научных тем)	Год окончания
2022	2024

Наименование этапа научной темы (для прикладных научных исследований)

Нет данных

Срок реализации этапа научной темы (дата начала и окончания этапа в формате ДД.ММ.ГГ. согласно техническому заданию)

Дата начала	Дата окончания
Нет данных	Нет данных

Вид научной (научно-технической) деятельности

Фундаментальное исследование

Рисунок 8. Заключение РАН по теме исследования



Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы»

111 258, Москва, проезд Звезда Сады и Мосты,
дом 10, офис 608, Тел. (495) +7 495 012 68 07
E-mail: drs@nt-ess.ru, http://www.nt-ess.ru/
ИНН 7717359787



Основана в 1724 году

Российская Академия Наук
Секция по проблемам НТП в энергетике
Научного совета РАН по
системным исследованиям в энергетике

УТВЕРЖДАЮ

Президент, Председатель
Научно-технической коллегии,
д.т.н., профессор

Н.Д. Погалева
Н.Д. Погалева
«28» марта 2022 г.

ПРОТОКОЛ № 2

совместного заседания Секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС» и Секции по проблемам НТП в энергетике Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике на тему:
«Исследование средств повышения регуляционной способности ветроэнергетических установок с целью их участия в управлении режимами электрической сети»

10 марта 2022 года

г. Москва

Присутствовали: члены секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», сотрудники НП «НТС ЕЭС», ПАО «Россети ФСК ЕЭС», АО «НПЦ ФСК ЕЭС», ФГБУН «ИНЭИ РАН», ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», ИСЭиЭПС ФИЦ КомИ НЦ УрО РАН, ФГАОУ ВО «УрФУ», ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», ФГБОУ ВО «Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева», Комитет ВЭО РосСНИО, ООО «Интеллиэнергия», ООО «РТСофт-ГТ», ООО НПФ «ЭКРА», всего 47 человек.

Со вступительным словом выступил председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических

Рисунок 9. Протокол НТС ЕЭС по смежной теме исследования

Возможный путь решения

Системы виртуальной инерции (СВИ) – комплекс устройств и алгоритмов, выполняющий преобразование постоянного тока в переменный ток промышленной частоты, имитирующий инерционный отклик синхронных машин на ЭЭС.

Основные элементы СВИ: силовая электроника (конвертор), система управления конвертором, система накопления энергии.

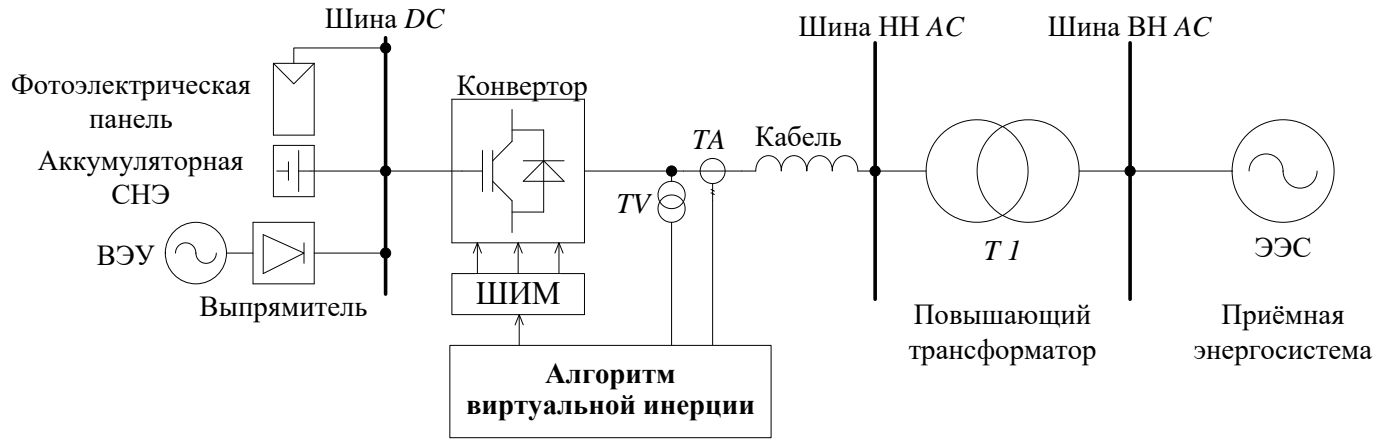
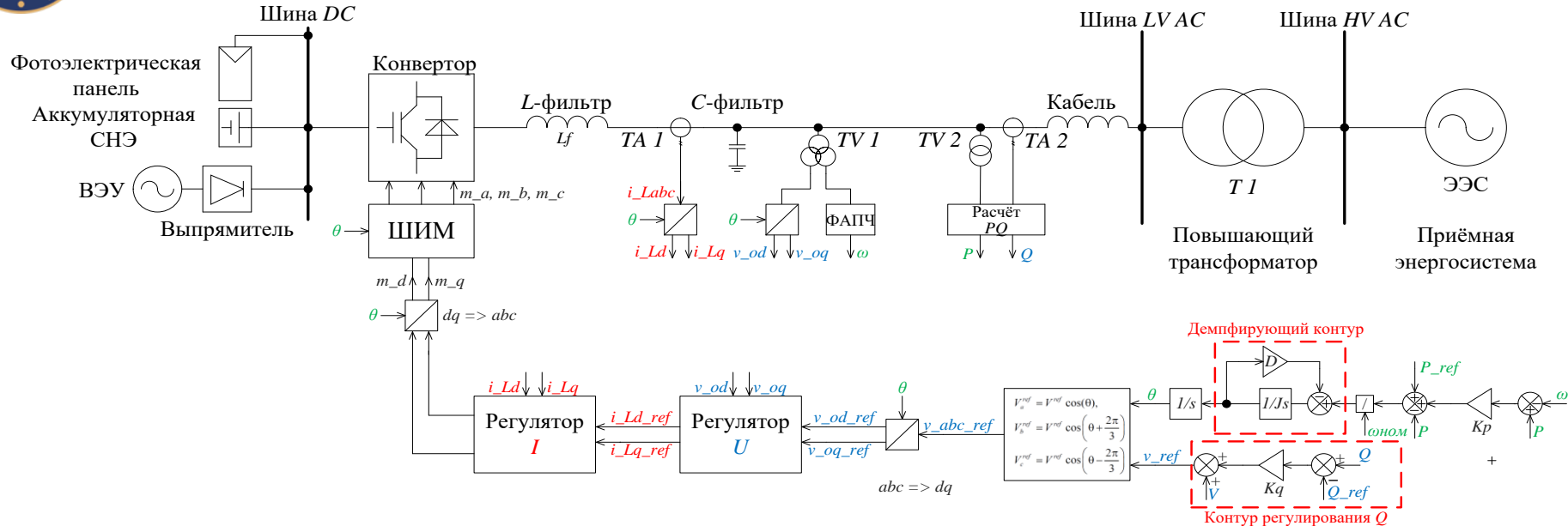


Рисунок 10. Принципиальная схема СВИ

Математическое описание СВИ



- а) k_p и k_i – значение пропорционального и интегрального звеньев регулятора тока;
- б) i_{Ld_ref} , i_{Lq_ref} – сигналы уставок по току по осям d и q ;
- в) i_{Ld} , i_{Lq} – текущие значения тока по осям d и q ;
- г) L_f – значение индуктивности фильтра;
- д) ω – текущее значение угловой частоты тока;
- е) v_{od} , v_{oq} – текущее значение напряжения по осям d и q ;
- ё) m_d , m_q – моделирующие сигналы в координатах d и q ;
- ж) Q_{ref} – сигнал уставки по реактивной мощности;
- з) v_{ref} – сигнал уставки на выходное напряжение инвертора;
- и) Q – текущее значение реактивной мощности;
- й) V – текущее значение амплитуды выходного напряжения;
- к) J – значение виртуальной инерции;
- л) D – коэффициент демпфирования;
- м) $\omega_{ном}$ – номинальное значение угловой скорости;
- н) θ – значение электрического угла;
- о) P_m – механический момент;
- п) P – значение активной мощности инвертора;
- р) k_p – коэффициент статизма по частоте;
- с) P_{ref} – сигнал уставки по активной мощности.

Рисунок 11. Структурная схема СВИ

Имитационное моделирование СВИ

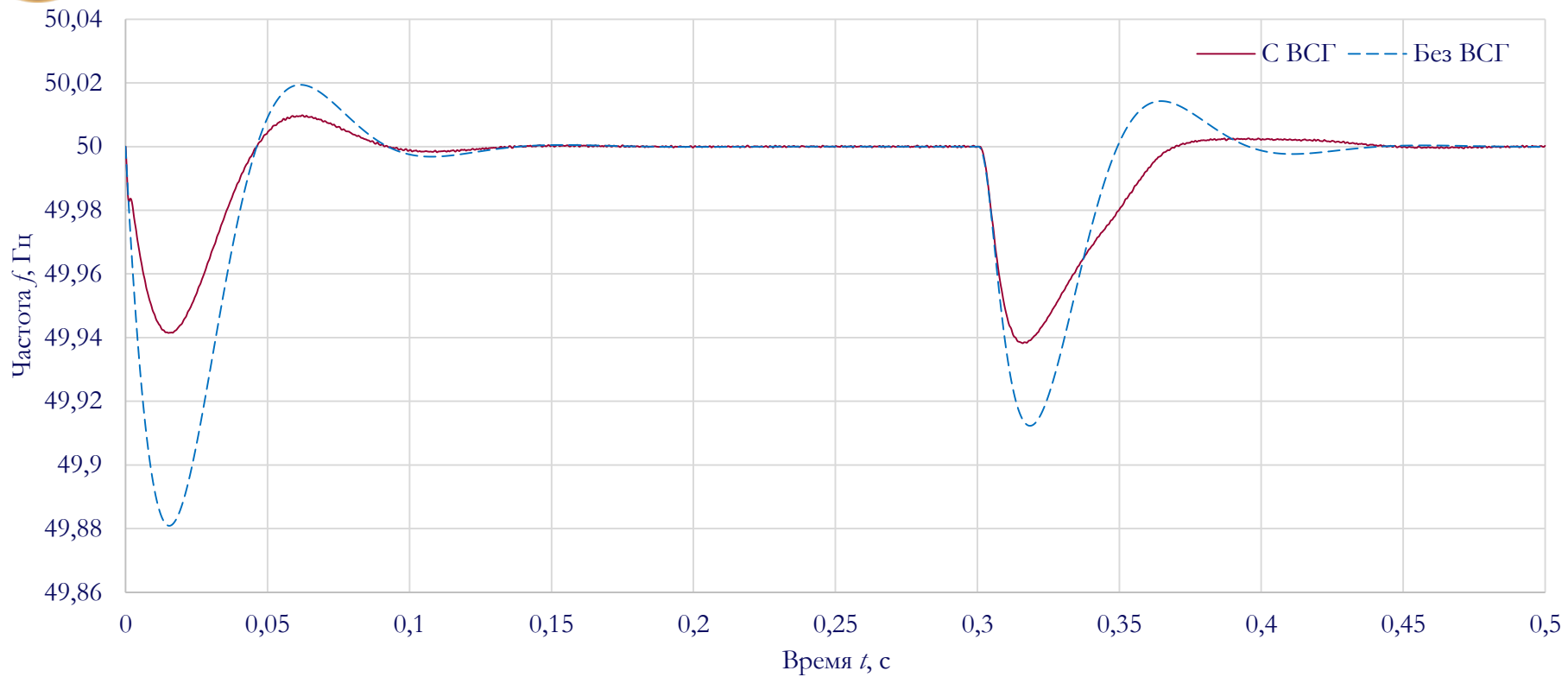


Рисунок 12. График частоты в тестовой системе при подключении на 10% нагрузки в момент времени 0,3 с

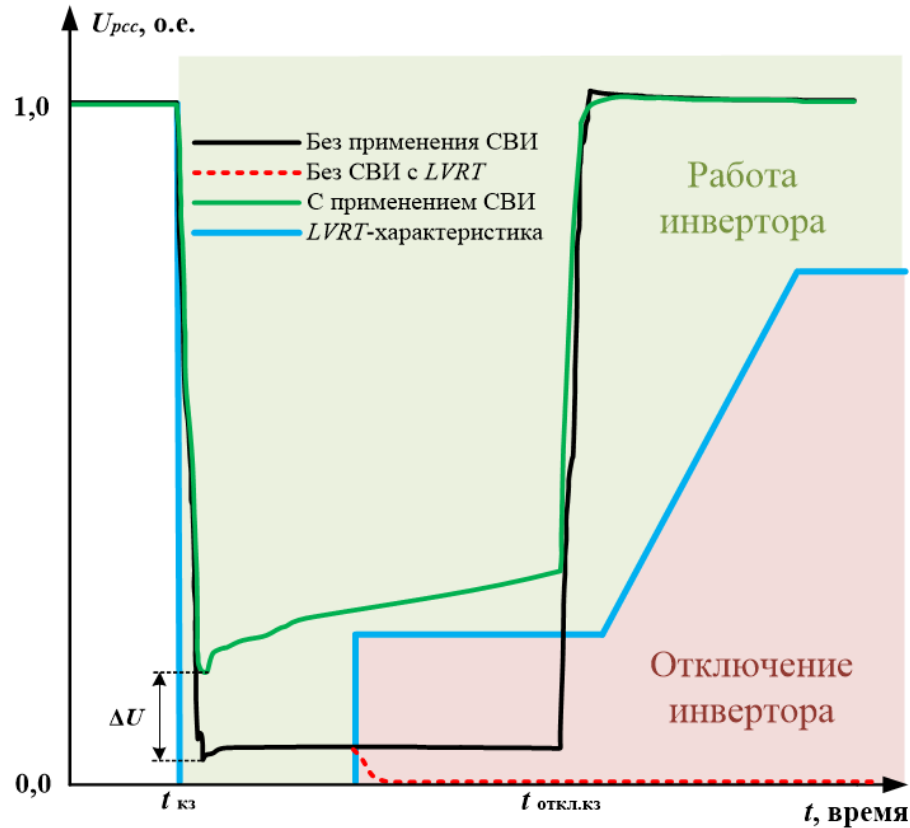


Рисунок 13. Переходный процесс по напряжению в точке присоединения инвертора при КЗ

Физическое моделирование

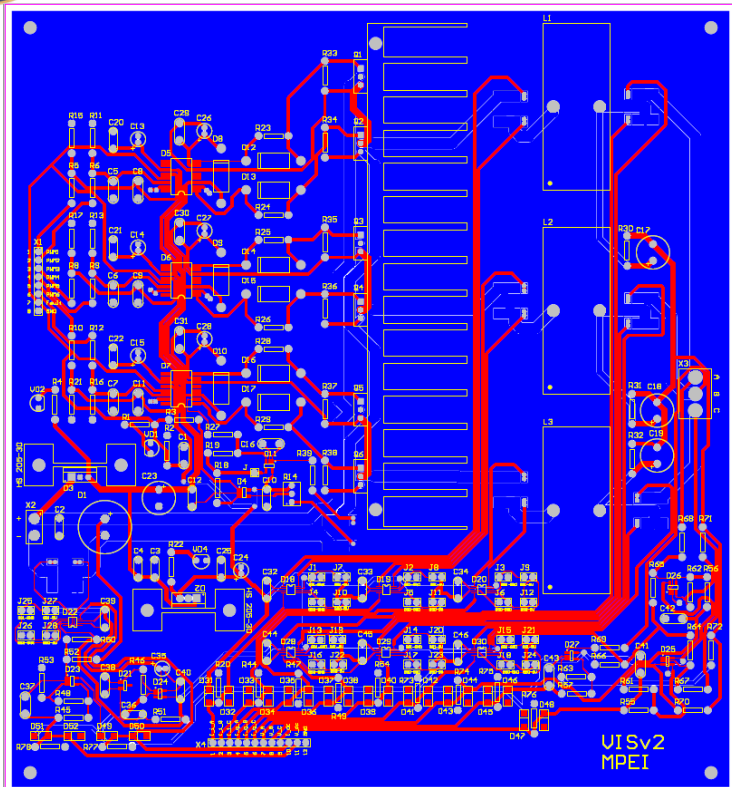


Рисунок 14. Макет печатной платы для второй версии конвертора

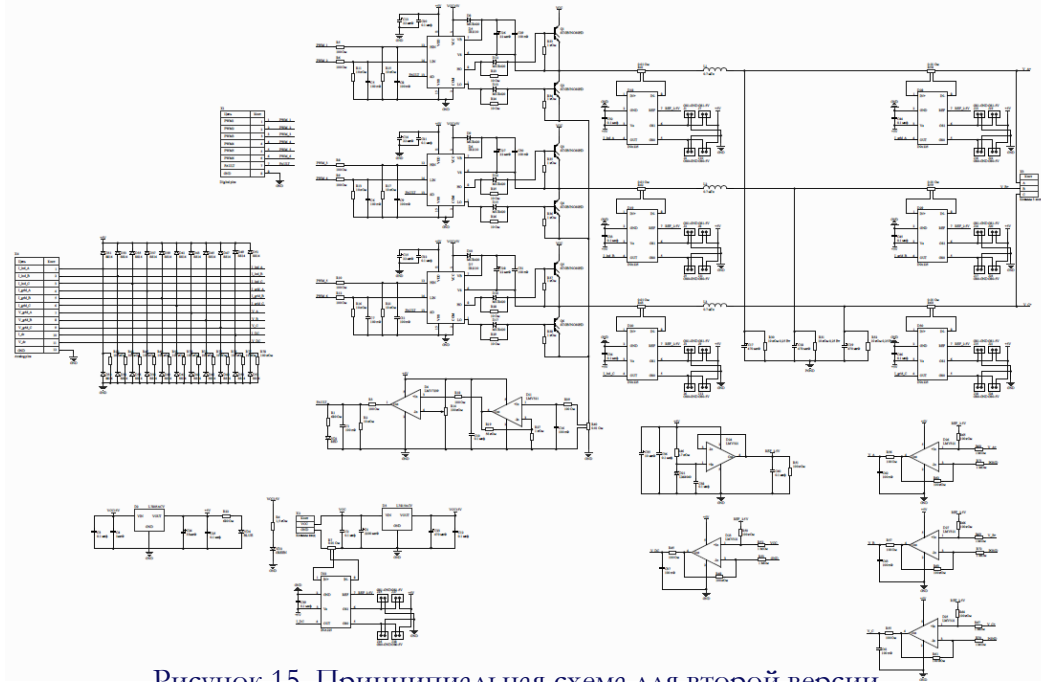


Рисунок 15. Принципиальная схема для второй версии конвертора

Физическое моделирование

Характеристики инвертора:

- Напряжение питания до 35 В, ограничено максимальным рабочим напряжением линейного стабилизатора напряжения *lm7815*.
- Действующий ток до 10 А, ограничен величиной потери мощности в дросселях фильтра.
- Транзисторы *irf540* с максимальным током 33 А, напряжение до 100 В.

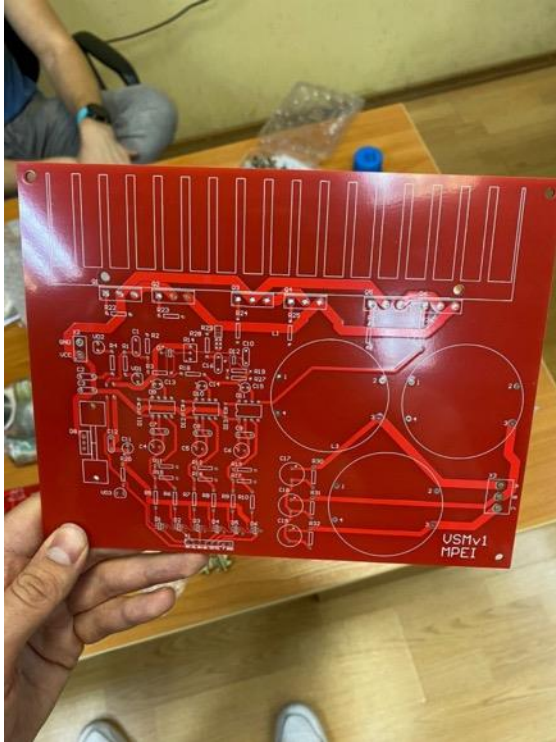


Рисунок 16. Изготовленная печатная платы для первой версии конвертора

Физическое моделирование

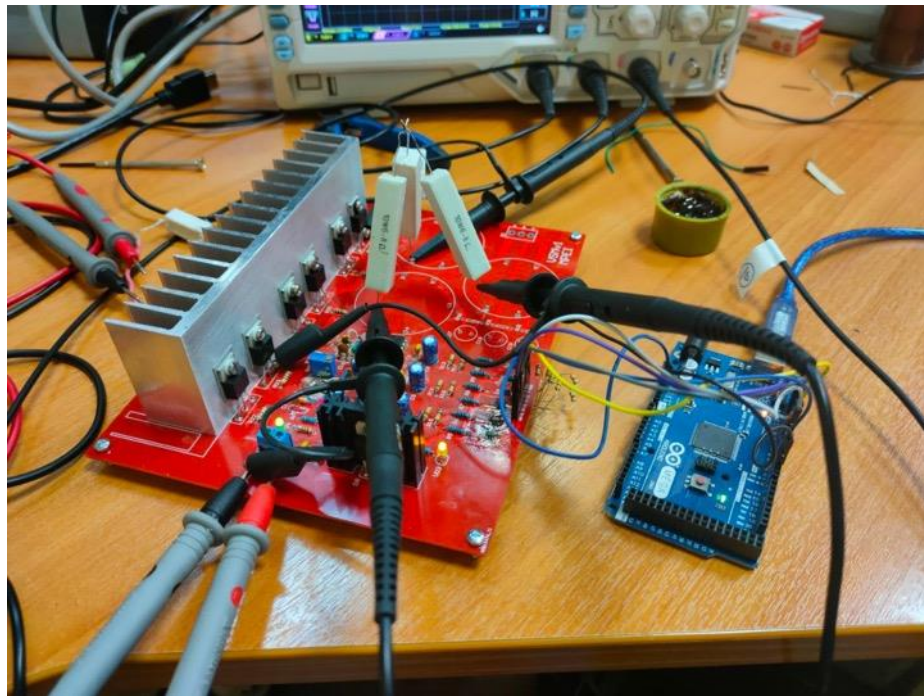


Рисунок 17. Процесс сборки первой версии конвертора

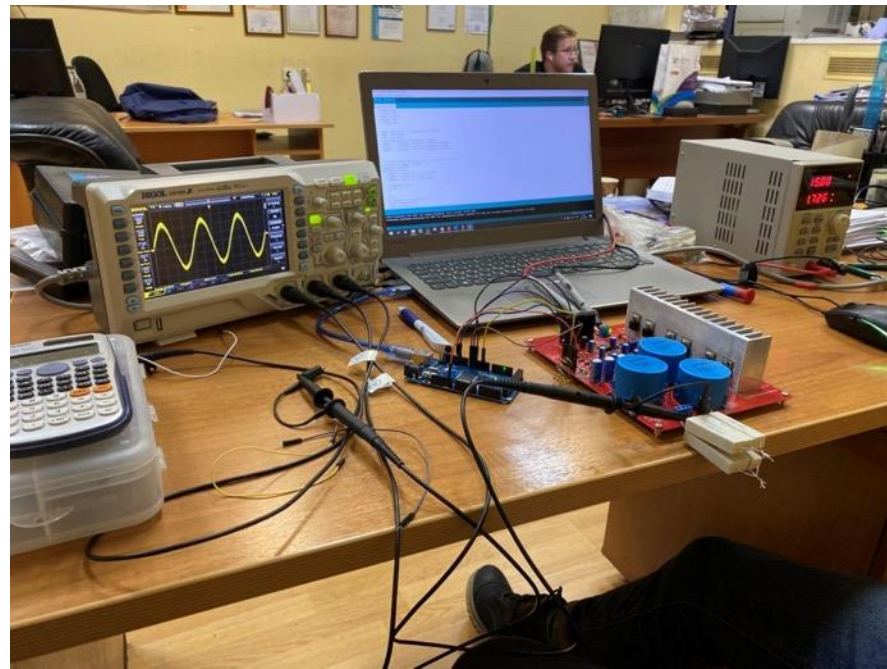


Рисунок 18. Проведение опытов с первой версией конвертора

Физическое моделирование

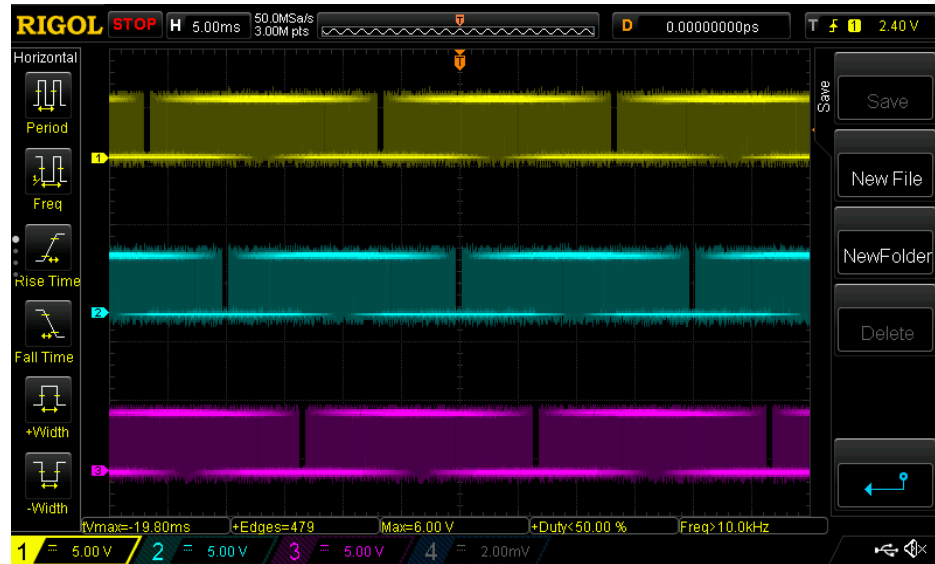


Рисунок 19. Осциллограммы ШИМ сигнала верхних ключей разработанного конвертора фаз А (желтый), В (синий), С (фиолетовый)

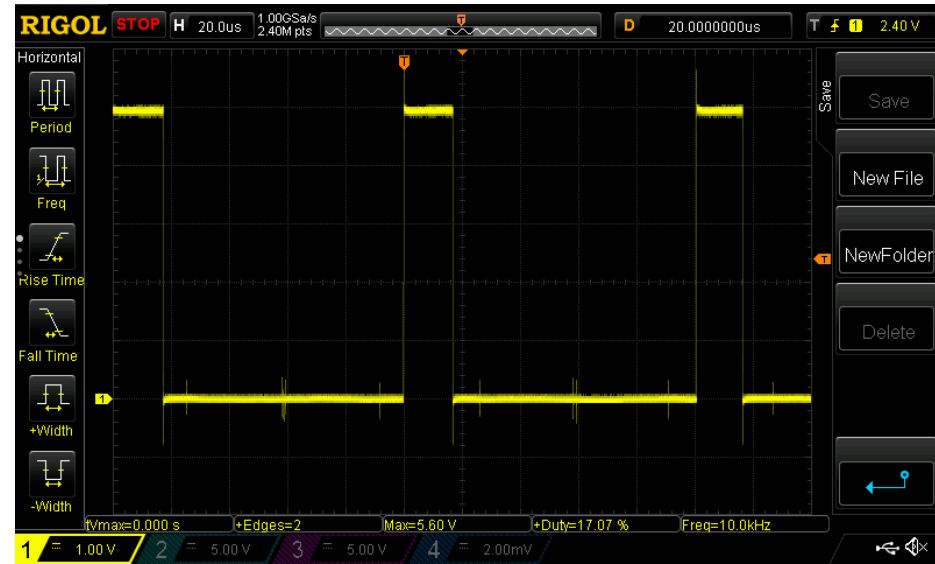


Рисунок 20. Осциллограммы ШИМ сигнала фазы А

Физическое моделирование

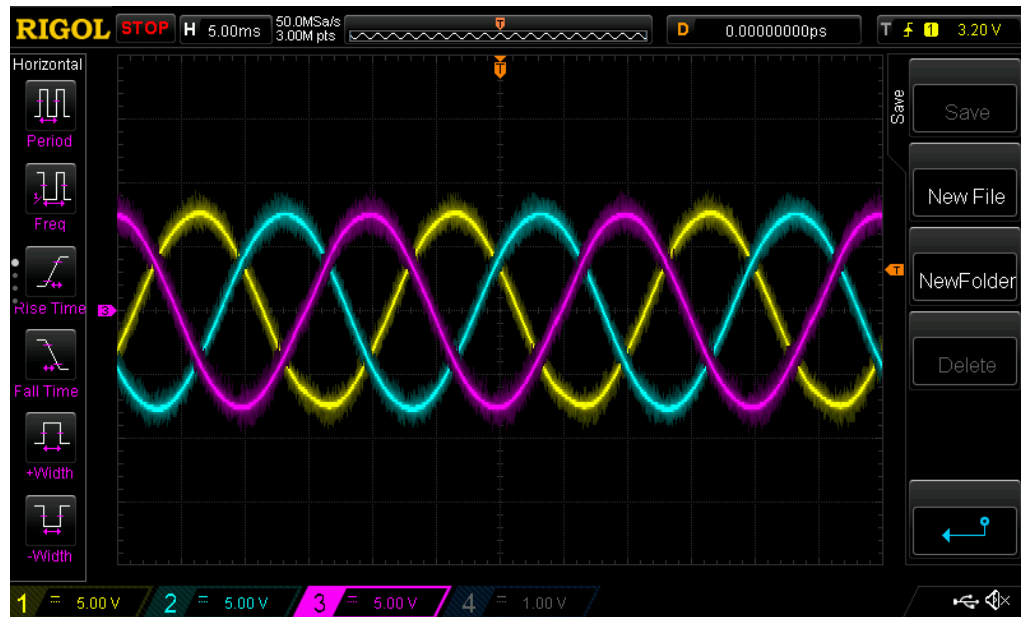


Рисунок 21. Осциллограммы выходных напряжений разработанного конвертора фаз А (желтый), В (синий), С (фиолетовый)

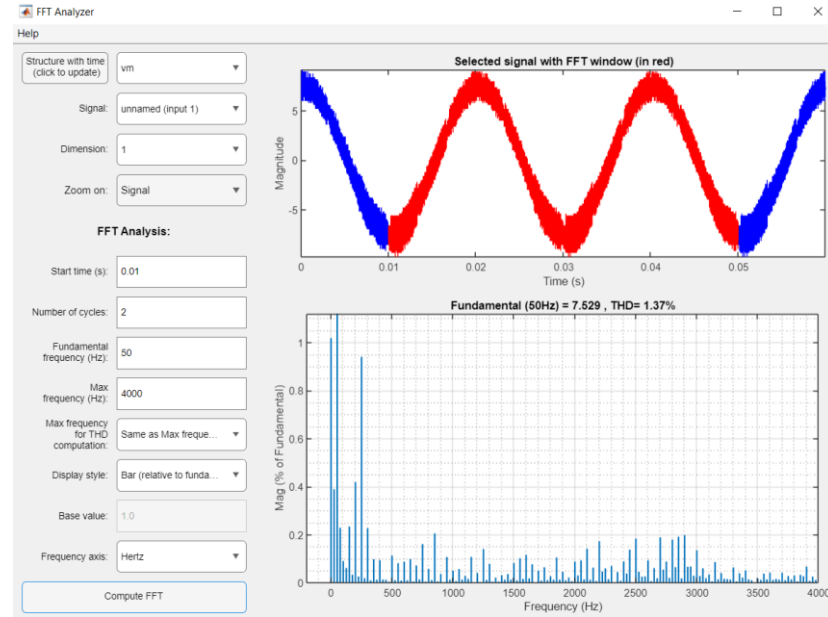


Рисунок 22. Вычисление содержания высших гармоник в выходном напряжении конвертора

Конкуренция

Коммерческие



Некоммерческие

1. Институт электроэнергетики и электроэнергетических систем Клаусталь-Целлерфельдского Университета, Германия.
2. Кафедра электроэнергетики и информационных технологий Университета Иллинойса в Чикаго, США.
3. Кафедра электроэнергетики и информационных технологий Университета Миссисипи.
4. Колледж электроэнергетики и информационных технологий Хунаньского университета, Китай.
5. Кафедра электроэнергетики Национального технологического университета Калькутты, Индия.

Применение РСНЭ с ВСГ для изолированных энергосистем на примере энергосистемы Калининградской области

Режим работы Калининградской энергосистемы в определенный час

	В режиме БРЭЛЛ	В изолированном режиме
МТЭС	0	2x40 МВт
ТТЭС	1x70 МВт	2x40 МВт
ПрТЭС	3x60 МВт	3x40 МВт
ПримТЭС	0	1x40 МВт
КТЭЦ-2	1x210 МВт	1x150 МВт

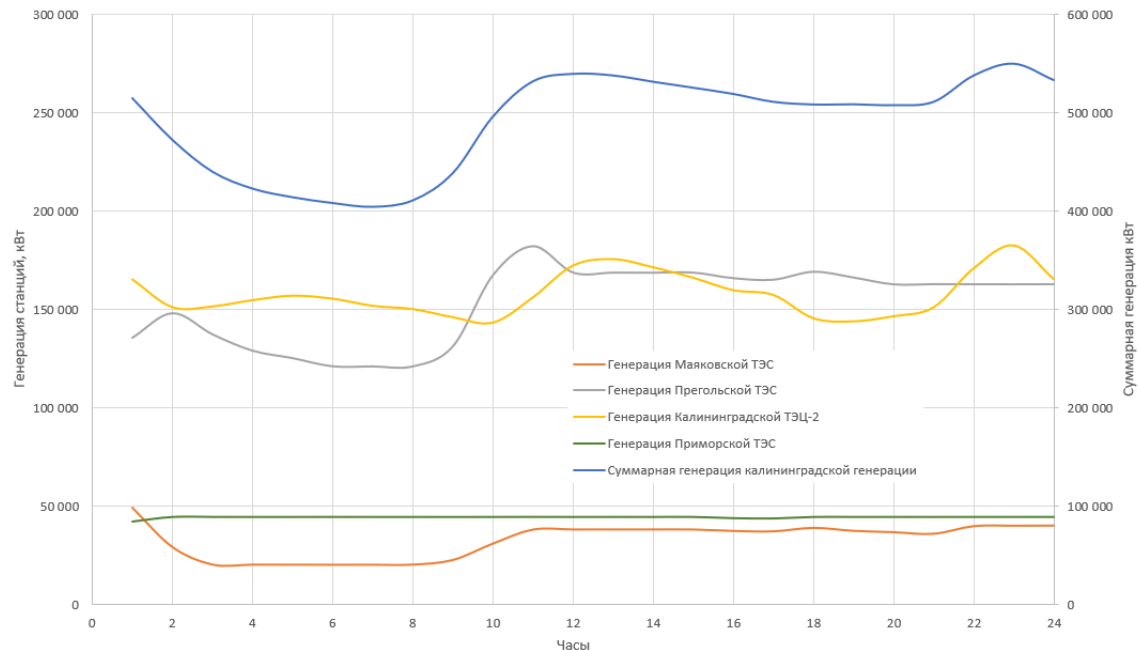


При работе энергосистемы Калининграда в изолированном режиме возникает:

- постоянный вращающийся резерв ГТУ;
- неэффективная работа генерирующего оборудования за счет использования менее экономичных ГТУ;
- более частое сервисное обслуживание ГТУ

Применение РСНЭ с ВСГ для изолированных энергосистем на примере энергосистемы Калининградской области

Режим работы генерирующего оборудования Калининградской энергосистемы в изолированном режиме 22 апреля 2023 г.



Применение РСНЭ с ВСГ позволит:

1. Сгладить неравномерность графика нагрузки генерирующего оборудования
2. Исключить вращающийся резерв на газотурбинных электростанциях
3. Повысить экономичность работы оборудования

Применение ВСГ позволит сохранить инертность системы с РСНЭ, как при работе без РСНЭ



ИНТЕР РАО
ИНЖИНИРИНГ

Демонстрация ВСМ

ВКС