

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический

Кафедра энергетики

Направление подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Направленность (профиль) образовательной программы Электроэнергетика

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

Н.В. Савина
« ____ » _____ 20__ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Проектирование противоаварийной автоматики на Благовещенской ТЭЦ

Исполнитель

студент группы 942-об4

(подпись, дата)

П.В. Беляев

Руководитель

доцент, канд.техн.наук

(подпись, дата)

А.Н. Козлов

Консультант: по

безопасности и

экологичности

доцент, канд.техн.наук

(подпись, дата)

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

Старший преподаватель

(подпись, дата)

Л.А. Мясоедова

Благовещенск 2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

_____ Н.В. Савина
« _____ » _____ 20__ г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Беляева Петра Васильевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование противоаварийной автоматики на Благовещенской ТЭЦ

(утверждено приказом от 03.04.23 № 794)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) 01.06.2023

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: однолинейная схема Амурской энергетической системы 220/110/35 кВ, материалы производственной и преддипломной практик, учебно-методическая литература

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): 1. Характеристика объекта 2. Обзор существующих устройств на на БТЭЦ и обоснование необходимости внесения изменений 3. Расчёт параметров схемы замещения 4. Расчёт статической и динамической устойчивости турбогенератора 5. Расчёт импульсной разгрузки турбогенератора 6. Расчёт токов КЗ в схеме 7. Устройства АВР и АРКТ 8. Работа УРОВ на шинах ОРУ ВН Благовещенской ТЭЦ 9. Безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) схема выдачи мощности Благовещенской ТЭЦ, схема ОРУ 110 кВ Благовещенской ТЭЦ, Схема собственных нужд БТЭЦ, статическая и динамическая устойчивость турбогенератора часть 1, статическая динамическая устойчивость часть 2, импульсная разгрузка турбогенератора.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов) безопасность и экологичность доцент, канд. техн. наук А. Б. Булгаков

7. Дата выдачи задания 19.04.2023

Руководитель выпускной квалификационной работы: доцент, канд. техн. наук А.Н. Козлов
(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): 19.04.2023

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 107 стр., 37 рисунков, 15 таблиц, 30 источников, 2 приложения.

ПРОТИВОАВАРИЙНАЯ АВТОМАТИКА, АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛИРОВКА ВОЗБУЖДЕНИЯ, СТАТИЧЕСКАЯ И ДИНАМИЧЕСКАЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА, ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ДЕЛИТЕЛЬНАЯ АВТОМАТИКА, ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ, ИМПУЛЬСНАЯ РАЗГРУЗКА ТУРБОГЕНЕРАТОРА, ЭКОЛОГИЧНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Актуальность заключается в том, что в связи с ростом числа потребителей активной и реактивной мощности от Благовещенской ТЭЦ, а также из-за перехода энергообъектов на микропроцессорную базу, необходим контроль режимов работы станции.

Целью, представленной выпускной квалификационной работы, является обеспечение охраны устойчивости блоков генераторов при возникновении аварийных режимов, путём применения импульсной разгрузки турбогенераторов.

Полученные результаты позволяют судить о сохранении устойчивости генераторов и предпочтительного варианта импульсной разгрузки. Новизна обосновывается отсутствием подобных данных за последние четыре года. Данные имеют практическую значимость при модернизации, реконструкции имеющихся на объекте МКПА и для корректировки работы автоматики.

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень условных обозначений	6
Введение.....	7
1 Характеристика объекта	9
1.1 Климатическая обстановка и особенности территории.....	9
1.2 Характеристика схемы рассматриваемой сети БТЭЦ.....	10
1.3 Защита СШ собственных нужд 6 кВ на БТЭЦ	12
2 Обзор существующих устройств па на бтэц и обоснование необходимости внесения изменений	13
2.1 Общие требования к управляющим воздействиям от ПА	15
2.2 Устройства ПА, установленные на Благовещенской ТЭЦ.....	16
2.3 Устройства ПА установленные в прилегающей сети	29
3 Расчёт параметров схемы замещения	31
3.1 Определение параметров схемы замещения	31
3.2 Расчет исходного установившегося режима	41
4 Анализ статической и динамической устойчивости турбогенераторов.....	44
4.1 Расчет статической устойчивости	44
4.2 Расчёт динамической устойчивости	46
4.2.1 Оценка динамической устойчивости по правилу площадей.	47
4.2.2 Приближенный расчет динамической устойчивости методом последовательных интервалов.....	53
5 Расчёт импульсной разгрузки турбогенератора	62
5.1 Способы сохранения динамической устойчивости.....	62
5.2 Требования к управляющим воздействиям при разгрузке турбин	63
5.2 Импульсная разгрузка паровых турбин (ИРТ)	64
6 Расчёт токов КЗ в схеме	73
6.1 Расчёт токов короткого замыкания в сети 110 кВ.....	73
7 Устройства АВР и АРКТ.....	77
8 Работа УРОВ на шинах ОРУ вн благовещенской ТЭЦ	80

9	Безопасность и экологичность.....	84
9.1	Безопасность.....	84
9.2	Экологичность.....	91
9.3	Чрезвычайные ситуации.....	95
9.3.1	Требования пожарной безопасности в ЗРУ.....	98
9.3.2	ТБ при тушении пожара.....	100
	Заключение.....	103
	Библиографический список.....	104
	Приложение А.....	108
	Приложение Б.....	162

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящей бакалаврской работе применяют следующие термины с соответствующими определениями:

АЛАР – автоматика ликвидации аварийного режима

АОПО – автоматика ограничение перегрузки оборудования

АОПЧ – автоматика ограничение повышения частоты

АОСН – автоматика ограничения снижения напряжения

АРОБ – автоматическая разгрузка при отключении блока генератора

АРЗКЗ – автоматика разгрузки при близких коротких замыканиях

АЧР – автоматическая частотной разгрузки

ДУ – динамическая устойчивость

ИРТ – импульсная разгрузка турбины

МКПА – микропроцессорный комплекс противоаварийной автоматики

ПА – противоаварийная автоматика

УРОВ – устройство резервирования отказа выключателя

ФОБ – фиксация отключения блока

ЧДА – частотно делительная автоматика

ШВОГ – шкаф выбора отключения генераторов

ВВЕДЕНИЕ

Тема ВКР была выбрана из списка, предложенного АО ДГК «Благовещенская ТЭЦ». Актуальность заключается в том, что, после введения в 2016 году четвертого блока турбогенератора на БТЭЦ повалилось число новых потребителей и энергообъектов, из-за этого появилась необходимость произвести проверку работы генераторов станции в различных режимах.

Новизна выбранной темы обосновывается отсутствием работ по данной тематике за последние четыре года. Целью бакалаврской работы является обеспечение сохранения устойчивости блоков генераторов при аварийном режиме работы станции с применением импульсной разгрузки турбогенераторов.

Задачами бакалаврской работы являются: оценка устойчивости ТГ, определение необходимой дозировки ИРТ, БЖД.

При выполнении ВКР применялись действующие методы проектирования.

Так как большая часть оборудования БТЭЦ устарело и не соответствует современным стандартам, проектирование ПА позволит повысить надежность её работы и качество отпускаемой электроэнергии.

На объекте уже применяются устройства ПА, которые управляют отдельными элементами схемы (например, АРВ, АРЗКЗ, АЧР, ЧДА). Данная автоматика необходима для предотвращения аварийных режимов и быстрого восстановления нормального режима работы ЭС в послеаварийный период при новых установившихся условиях. [7]

На БТЭЦ установлено пять котлоагрегатов, паропроизводительность каждого 420 т/час, перегретый пар подаётся на каждый из четырех блоков турбоагрегат-трансформатор суммарной установленной мощностью 404 МВт. Выдача мощности от БТЭЦ производится через ОРУ 110 кВ, выполненная по схеме две системы шин с обходной по шести ЛЭП. Собственные нужды станции выполнены в виде двух систем шин 6 кВ, питание которых осуществляется от ОРУ 110, также в случае выхода из строя основного ТСН, есть возможность запитать шины СН от ТГ в обход ОРУ.

Первый и второй разделы посвящены обзору характеристик БТЭЦ и состав имеющихся комплексов ПА.

В третьем разделе осуществляется определение состава элементов схемы и начального режима работы сети.

Четвертый раздел описывает методы анализа устойчивости ТГ.

В пятом разделе производится расчёт ИТР методом последовательных интервалов с применением поправочных коэффициентов.

В шестом разделе осуществляется расчёт токов КЗ методом симметричных составляющих.

Седьмой и восьмой разделы посвящены устройствам АВР, АРКТ и вопросам работы УРОВ на сборных шинах станции.

В девятом разделе произведена оценка охраны труда и аспектам экологии на территории предприятия.

Графическая часть ВКР, выполнена на 6 листах формата А1.

При выполнении бакалаврской работы использовалось лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Microsoft Office Word 2016 г;
2. Microsoft Office Visio 2016 г;
3. MathCad 15,0;
4. MathCad Prime 4,0

1.1 Климатическая обстановка и особенности территории

Амурская область входит в состав Дальневосточного федерального округа (ДФО) и располагается в зонах тайги, между Становым хребтом на севере и югом реки Амур, преимущественно в бассейне верхнего Амура. Большую часть региона занимают горы, равнинная местность в основном на юге области, её объём всего около 40% от всей территории области.

Область лежит в умеренном тепловом поясе с континентально-муссонным климатом. Большую часть года территория области маловетренная погода, средняя скорость ветра не превышает 3,6 м/сек. В холодное время года малоснежно и сухо со средней температурой от -24 °С на юге до -33 °С на севере. Лето дождливое и жаркое, средняя температура от 21 °С на юге и 18 °С на севере [14].

Основные данные по климату Амурской области, необходимы для правильного выбора электрооборудования сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Климатические характеристики АО

Параметр	Величина
Район по ветровому давлению, кПа	III
Давление ветра, кПа	30
Нормативная скорость ветра, м/сек	1,9
Район по гололёду, мм	IV (25)
Нормативная стенка гололёда на высоте 100 м, мм	18
Годовое количество осадков, мм	501
Температура гололедообразования, °С	-10
Низшая температура воздуха, °С	-52
Среднегодовая температура воздуха, °С	-3,6
Высшая температура воздуха, °С	40
Число грозных часов в год, час	50

1.2 Характеристика схемы рассматриваемой сети БТЭЦ

ЭС Амурской области входит в состав объединённой энергосистемы Востока (ОЭС Востока). Режим работы ЭС находится под управлением филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Востока Амурское РДУ. ОЭС Востока имеет слабую связь (ЛЭП 220 кВ) с ОЭС Сибири, а именно с ЭС Иркутской области и Забайкальского края.

На Благовещенской ТЭЦ установлено четыре блока турбогенератор - трансформатор:

– Первый блок: турбогенератор ТВФ-63-2 с форсированным водородным охлаждением обмотки статора и косвенным водородным охлаждением ротора; установленная мощность 63 МВт; полная мощность 78,75 МВА; номинальное напряжение 6,3/10,5 кВ; ток статора 7,215 кА; система возбуждения статическая тиристорная по схеме самовозбуждения; система автоматической регулировки возбуждения пропорционального действия (АРВ ПД); [15]

Силовой трансформатор: ТРДЦН-80000/110У1, трехфазный, двухобмоточный, с естественной циркуляцией масла и принудительным обдувом воздуха, имеет регулировку напряжения под нагрузкой (РПН) $\pm 12 \times 12\%$, установленной в нейтрали ВН; напряжение ВН 110 кВ; напряжение НН 6/10,5 кВ; магнитопровод трехстержневой плоскошпихтованный;

– Второй блок и третий блоки оснащены турбогенераторами ТВФ-120-2 с форсированным водородным охлаждением обмотки статора и косвенным водородным охлаждением ротора; установленная мощность 100 МВт; полная мощность 125 МВА; номинальное напряжение 10,5 кВ; ток статора 6,875 кА; система возбуждения статическая тиристорная по схеме самовозбуждения; АРВ ПД; [15]

Силовые трансформаторы второго и третьего блоков: ТДЦ-125000/110-У1, трехфазный, двухобмоточный, с принудительной циркуляцией воздуха и ненаправленным потоком масла, имеет регулировку напряжения осуществляемую без возбуждения (ПБВ) $\pm 2 \times 2\%$, которая установлена в нейтрали ВН; напряжение ВН 110 кВ; напряжение НН 10,5 кВ; магнитопровод трехстержневой трехрамный с боковыми ярмами;

– Четвертый блок: турбогенератор ТЗФП-130-2УЗ с воздушным охлаждением пространства по трёхконтурной схеме установленная мощность 130 МВт; полная мощность 162,5 МВА; номинальное напряжение 10,5 кВ; ток статора 8,935 кА; система возбуждения статическая тиристорная по схеме самовозбуждения; АРВ сильного действия (СД);

Силовой трансформатор ТДЦ-160000/110: трехфазный, двухобмоточный, с принудительной циркуляцией воздуха и ненаправленным потоком масла, имеет регулировку напряжения, осуществляемую без возбуждения (ПБВ) $\pm 2 \times 2,5\%$, которая установлена в нейтрали ВН; напряжение ВН 110 кВ; напряжение НН 10,5 кВ; магнитопровод трехстержневой трехрамный с боковыми ярами;

На территории БТЭЦ находится ОРУ 110 кВ со схемой типа «две рабочие и обходная системы шин», также есть две системы шин для собственных нужд напряжением 6 кВ. Энергоснабжение СШ СН осуществляется следующим образом: при нормальном режиме питание осуществляется через отдельные силовые трансформаторы ТРДНС-25000/10У1, присоединённых к Г2, Г3, Г4 и от Г1 через сдвоенный ректор, в случае их отказа, ремонта питание осуществляется от СШ ОРУ 110 кВ через ТРДНС-25000/110. Блоки генератор-трансформатор соединены с шинами ОРУ по номерам: Г1 и Г3 присоединены к 1СШ, а Г2 и Г4 к 2СШ, при этом нормальное положение работы шинносоединительного выключателя (ШСВ) постоянно «Включено», обе СШ работают как одна. При таком режиме работы ПС, при отключении ШСВ, Благовещенская ТЭЦ разделится на две независимые электростанции. [25]

Выдача мощности от ТЭЦ к ПС осуществляется по двухцепным ЛЭП с номинальным напряжением 110 кВ, которые закольцованы и имеют двухстороннее питание:

- ВЛ БТЭЦ – Благовещенская №1 с отпайками;
- ВЛ БТЭЦ – Благовещенская №2 с отпайкой на ПС Чигири;
- ВЛ БТЭЦ – Центральная №1 с отпайками;
- ВЛ БТЭЦ – Центральная №2 с отпайками;

- ВЛ БТЭЦ – Западная №1;
- ВЛ БТЭЦ – Западная №2;
- ВЛ Центральная – Портовая №1;
- ВЛ Центральная – Портовая №2;
- КЛ Портовая – Западная №1;
- КЛ Портовая – Западная №2;
- КВЛ Благовещенская – Центральная №1 с отпайками;
- КВЛ Благовещенская – Центральная №2 с отпайкой на ПС Северная;

Все ЛЭП имеют разную протяженность, для ВЛ эта величина варьируется от 2 до 9,2 км, длина КЛ и КВЛ 7,4 км и 10 км соответственно. Также все ЛЭП имеют каналы связи для ПА и РЗ, которые выполняются в виде высокочастотной и волоконно-оптической линии связи (ВОЛС).

1.3 Защита СШ собственных нужд 6 кВ на БТЭЦ

Шины собственных нужд необходимы для обеспечения бесперебойной работы оборудования станции, также к ним присоединены агрегаты, дублирующие основные системы (различные двигатели насосов, вентильных установок).

Электроснабжение СН обеспечивается от генераторов самой станции, такая схема наиболее проста и экономична. Надежность энергообеспечения СН складывается из следующих условий:

- Применение быстродействующей РЗ, позволяющей уменьшить вероятность падения напряжения СН и торможение электродвигателей при КЗ во внешней сети;
- Наличие АВР генераторов, обеспечивает быстрое восстановление нормального напряжения на шинах СН после отключения КЗ;
- Трансформаторы СН на стороне НН работают отдельно с наличием АВР.
- Резервный источник питания для защит и автоматики, в т.ч. для ПА. Источниками являются аккумуляторные батареи и выпрямитель. [24]

2 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ УСТОЙСТВ ПА НА БТЭЦ И ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ

Сложный технологический процесс Благовещенской ТЭЦ предусматривает генерацию и распределение как электрической, так и тепловой энергии. Текущий уровень автоматизации многих процессов на данной электростанции положительно влияет на ее работу. Однако, учитывая масштабность объекта, значительная доля электрооборудования продолжает использоваться без модернизации, что создает риск возникновения неблагоприятных ситуаций. Такие сбои в работе не только ухудшают эффективность процесса тепло- и электрогенерации, но и могут стать источником следующих опасностей:

- Аварии на оборудовании, такие как турбины, генераторы, трансформаторы и другое, которые могут привести к остановке работы электростанции;
- Перегрузки и перенапряжения в сети, которые могут повредить оборудование и нарушить энергоснабжение в регионе;
- Пожары, которые могут возникнуть из-за перегрева оборудования;
- Экологические проблемы, такие как выброс вредных веществ в атмосферу, загрязнение окружающей среды и ухудшение экологической ситуации в регионе.

Все эти риски могут сильно повлиять на работу электростанции и привести к серьезным проблемам для окружающей среды и населения. Поэтому модернизация и автоматизация технологических процессов на БТЭЦ является важной задачей, которая позволит повысить безопасность и надежность работы электростанции.

Благодаря установке систем ПА на БТЭЦ, будет производиться контроль режимов работы энергетической структуры станции, а также ограничение развития и полное прекращение возможных аварийных режимов работы предприятия.

Согласно методическим указаниям по устойчивости энергосистем, всё оборудование релейных защит и автоматики, устанавливаемое на электроэнергетических объектах необходимо выполнять с применением современных микропроцессорных устройств. [8]

Система противоаварийной автоматики - это комплекс устройств управления которая используется для предотвращения аварийных ситуаций на объектах энергетической промышленности, таких как электростанции, подстанции и т.д. Она состоит из нескольких подсистем, каждая из которых выполняет свои функции в рамках управления определенной зоной. В системе ПА все подсистемы производят комплексную работу, взаимодействуя с РЗ и другими устройствами. Они устанавливают местоположение, тип аварийных ситуаций и подбирают объем управляющих действий для её ограничения и дальнейшего устранения. Также система отображает сработавшие защиты, регистрируя их местоположение и неисправности. Кроме того, проводится мониторинг состояния сети с последующей настройкой необходимых параметров. Все подсистемы объединяются общим временем, что позволяет достичь максимальной эффективности управления системой.

Основные функции ПА для управления системой:

- предотвращения нарушений устойчивости параллельной работы (АПНУ);
- ликвидации асинхронных режимов (АЛАР);
- ограничения снижений частоты (АОСЧ);
- ограничения повышений частоты (АОПЧ);
- ограничения снижений напряжения (АОСН);
- ограничения повышений напряжения (АОПН);
- предотвращения недопустимых перегрузок оборудования (АОПО).

2.1 Общие требования к управляющим воздействиям от ПА

Объекты энергетики, совместно с потребителями электрической энергии, имеющие управляемую нагрузку, обязаны обеспечивать соответствие характеристик управления оборудованием входящих в состав ЭЭС с характеристиками используемых системами ПА УВ.

а) Перед распределением УВ нужно учесть техническое состояние электро-технического, энергетического оборудования и другие условия которые влияют на его эксплуатацию.

б) Дозирование УВ, как правило осуществляется ступенями.

в) Объем УВ рекомендовано осуществлять однократно, ручном режиме при этом контролируя допустимость снятия реализованных ступеней УВ. Исключением являются устройства АЧР, ЧАПВ, ИРТ и ЭТ.

г) У многоступенчатых УВ, высшие ступени должны включать в себя низшие ступени.

д) При формировании команд реализации нескольких одинаковых ступеней УВ в пределах интервала одновременности (определяется видов ПА и УВ) необходимо задействовать наибольшую из ступеней. Ступени УВ не входящие в этот интервал реализуются согласно восстановления своей готовности.

е) Последовательность реализации УВ, зависит от типа ПА и объекта, в котором они применяются, определяются путем выбора наиболее экономичного решения, с обеспечением выполнения установленных требований. Виды УВ, ущерб от которых менее экономичен должны применяться только в случае, когда более предпочтительные УВ (по экономическим соображениям) не готовы, исчерпали свои возможности или в качестве резервных.

ж) Электроэнергетические объекты и потребители электрической энергии, на которых уже имеются или планируются устанавливаться устройств ПА, обязаны иметь документальное подтверждение технической возможности для реализации ПАУ и обеспечения требуемых характеристик УВ.

2.2 Устройства ПА, установленные на Благовещенской ТЭЦ

Благовещенская ТЭЦ в своей структуре имеет микропроцессорные устройства ПА, объединенные в единый комплекс защит собранных на базе «ЭКРА»:

1. *Частотно-делительная автоматика (ЧДА)*. Предназначена для предотвращения снижения частоты напряжения до критического уровня на шинах БТЭЦ. В зависимости от установленного алгоритма и схемно-режимной ситуации, ЧДА формирует и подаёт УВ на высоковольтные выключатели, тем самым разделяя генераторы энергоблоков БТЭЦ на сбалансированную нагрузку и поддержание собственных нужд, предотвращая полное погашение станции и ускоренное восстановление электроснабжения в послеаварийном режиме. Уставки срабатывания ЧДА подбираются таким образом, чтобы обеспечить устойчивую работу выделенных генераторов в течении тридцати и более минут с балансом активной и реактивной мощностей (допустимы уровень небаланса определяется по условиям устойчивости генерирующего оборудования ТЭЦ с учётом действия АЧР). Обычно применяется две ступени: быстродействующая ($f=45 - 51$ шаг $0,01$ Гц; $t=0 - 100$ шаг $0,01$ с) и резервная ($f=45 - 50$ шаг $0,01$ Гц; $t=0 - 100$ шаг $0,01$ с).

Автоматическое выделение электростанций (генераторов) со сбалансированной нагрузкой применяется:

а) для предотвращения полной остановки ЭС при отказе основных устройств АОСЧ или при их недостаточной эффективности путем поддержания в работе СН.

б) для обеспечения электроснабжения потребителей с наиболее важной группы энергообеспечения.

В отдельных случаях допускается выделение электростанций (генераторов) с дефицитом активной мощности, который будет устранён действием АЧР в отделившемся энергорайоне.

в) ЧДА устанавливается в обязательном порядке на всех ТЭС, где имеется возможность её выполнения исходя из схемы ЭС, ее расположения в сети, ограничения по теплофикационному режиму и прочих параметров.

Для ЭС, где установка ЧДА является невозможной или нецелесообразной, необходимо подготовить, утвердить и согласовать с организацией ОДУ соответствующие решения.

Для ЭС с ЧДА необходимо подготовить решения, которые подтверждают соответствие ЧДА и систем регулирования ЭС с установленными правилами по их назначению, настройке и эксплуатации.

г) Для предотвращения отключения нагрузки ближнего энергорайона, допускается установка ЧДА на ГЭС.

Система регулирования ГТ обязана обеспечить сохранение в работоспособном состоянии агрегаты при выделении мощностей на нагрузку энергорайона, СН и для снижения частоты до приемлемого уровня при последующем отключении части ГТ.

д) Выбор уставок срабатывания ЧДА выполняется с учетом обеспечения устойчивой работы выделяемых ЭС (энергоблоков) и действия ЧДА после срабатывания первой ступени АЧР.

е) Если подключение ответственных потребителей производится непосредственно к шинам ЭС, а также в крупных городах где над электрической нагрузкой преобладает тепловая, допускается выполнять неселективное действие ЧДА по отношению к АЧР.

ж) Сечения ЧДА подбирается таким образом, чтобы минимизировать число отключаемых выключателей при подаче УВ от ЧДА.

з) При необходимости следует осуществлять предварительную подготовку первичной схемы электрической сети к выделению электростанций, генераторов со сбалансированной нагрузкой или генераторов на питание СН.

и) При проведении контрольных замеров, необходимо выполнить проверку на соответствие мощности генерации и нагрузки в энергорайоне, выделяемом системой ЧДА

к) Если на ЭС применяется ЧДА, то необходимо осуществлять постоянный мониторинг состояния оборудования, на которое воздействует автоматика и системы регулирования.

л) На электростанциях с применением ЧДА организовывается мониторинг соответствия мощностей генерации и нагрузки в районе ЧДА, в режиме реального времени с учетом действия АЧР и с определением величины минимально допустимой генерации.

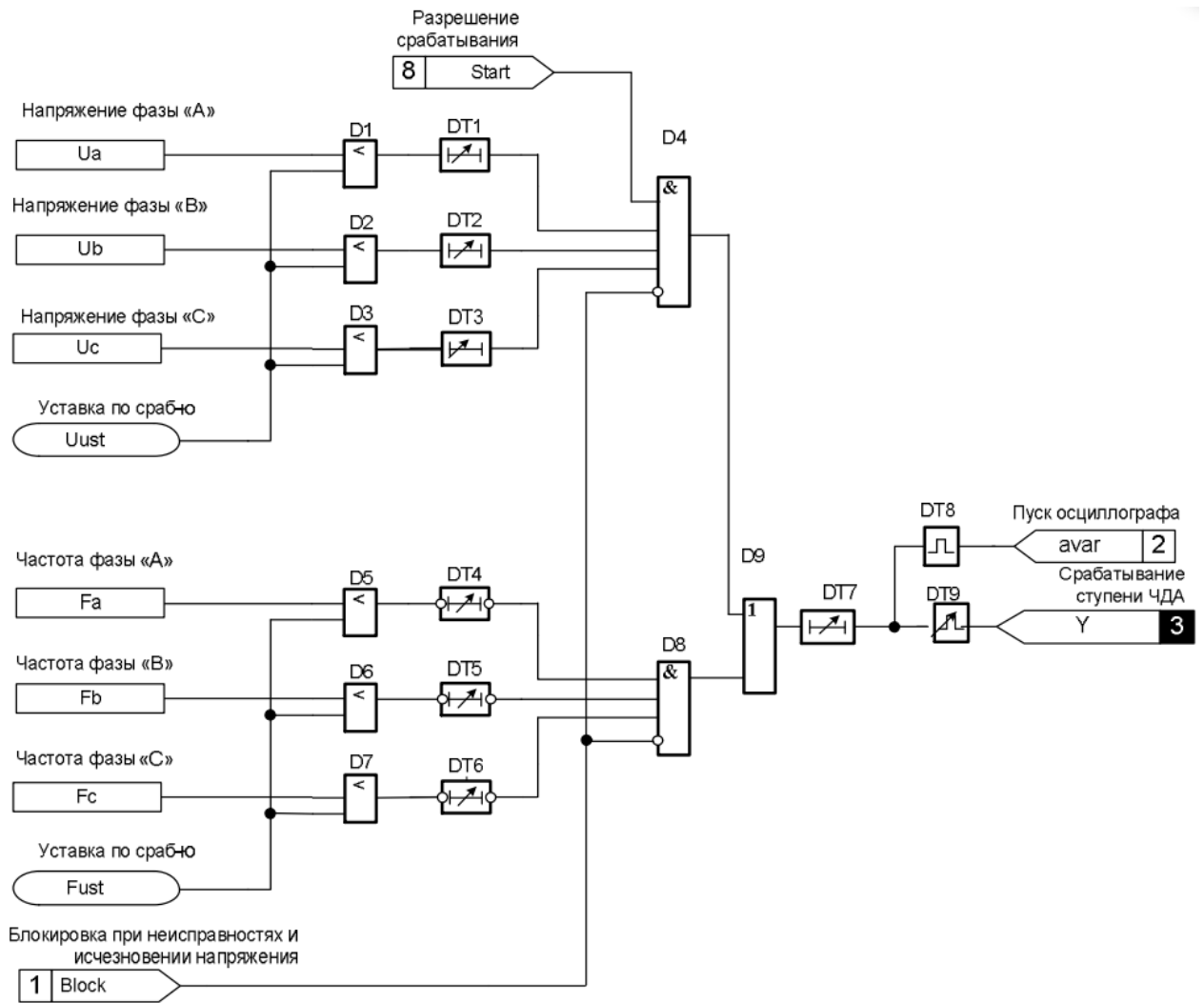


Рисунок 1 – Типовой алгоритм первой ступени ЧДА

Таблица 2 – УВ от ЧДА на БТЭЦ

Управляющие воздействия	Подключение выходных сигналов к УВ (1 – подключен; 0 – не подключен)												
	Оккл. ВЛ-1	Оккл. ВЛ-2	Оккл. ВЛ-3	Оккл. ВЛ-4	Оккл. ВЛ-5	Оккл. ВЛ-6	Оккл. ВЛ-7	Оккл. ОГ-1	Оккл. ОГ-2	Оккл. ОГ-3	Пуск К7	Пуск К8	Пуск К9
1 Ст. ЧДА при 1 ТГ	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2 Ст. ЧДА при 1 ТГ	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1 Ст. ЧДА при 2 ТГ	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1
2 Ст. ЧДА при 2 ТГ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
1 Ст. ЧДА при 3 ТГ	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
2 Ст. ЧДА при 3 ТГ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
1 Ст. ЧДА при 4 ТГ	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
2 Ст. ЧДА при 4 ТГ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0

2. *Автоматика ограничения повышения частоты (АОПЧ)*. Используется для контроля и регулирования частоты в системе, чтобы предотвратить перегрузку, повреждение оборудования и обеспечить надежную работу технологических процессов. АОПЧ имеет два вида исполнения: с датчиком контроля частоты или с датчиком контроля частоты и измерения скорости повышения частоты. Принцип действия автоматики заключается в том, что она контролирует частоту и сравнивает ее с заранее заданным порогом, если частота превышает установленный порог, автоматика может снизить скорость вращения оборудования и предотвратить повреждение. Стандартные уставки срабатывания АОПЧ находятся в диапазоне от 50,5 Гц до 55 Гц с шагом не более 0,05 Гц, время начала работы измерительного органа по частоте 0,1 с при скорости изменения частоты

от 1 Гц/с до 10 Гц/с. Микропроцессорный блок АОПЧ имеет функции самодиагностики исправности программно-аппаратных средств и возможность передачи информации о его состоянии в систему РАС и других процессов.

Установленный АОПЧ действует на выделение БТЭЦ с примерно балансирующей нагрузкой для резервирования действия устройств АОПО установленных на ГЭС. Также данная автоматика БТЭЦ отстроена по частоте от действующей АОПЧ на ГЭС.

а) Организацию АОПЧ необходимо осуществлять в каждом энергорайоне (энергоузле), который может быть отделен от энергосистемы при возникновении аварии или под действием автоматики с избытком мощности, который приводит к недопустимому повышению частоты.

б) Выполнение функций АОПЧ должно осуществляться при всех возможных аварийных избытках мощности, в подконтрольном ему энергорайоне (энергоузле).

в) Настройка АОПЧ должна выполняться с отстройкой от режима синхронных качаний в энергосистеме.

г) Для предотвращения повышения частоты до критического уровня на ТЭС, которые могут оказаться в параллельной работе с ГЭС, чья мощность значительно больше, необходимо применять устройства автоматики, которые действуют при повышении частоты выше 52-53 Гц организуют отключение части генераторов на ГЭС.

Допустимо применение устройств, действующих на отделение ТЭС со сбалансированной нагрузкой от ГЭС.

д) В узлах ЭЭС, которые состоят только из ГЭС, необходимо предусматривать устройства для ограничения аварийного повышения частоты за счет отключения части генераторов, а также устройства, которые влияют на закрытие направляющих аппаратов до прекращения повышения частоты.

е) Действие АОПЧ не должно приводить к последующему действию устройств АОСЧ. Вводимый для этого разброс действия АОПЧ по частоте и времени на отключение генераторов должен определяться на основе специальных расчетов изменения частоты с учетом действия АРС турбин.

3. *Автоматика разгрузки при близких или затяжных коротких замыканиях (АРБКЗ / АРЗКЗ).* Даная автоматика является важным компонентом в системах электроснабжения и используется для сохранения динамической устойчивости (ДУ) генераторов блочно-турбинных электростанций при возникновении КЗ с длительным временем восстановления.

Целью АРЗКЗ (АРБКЗ) является предотвращение неустойчивости и возможных последствий отказов высоковольтных выключателей или нарушения работы устройств РЗ. Для достижения этой цели установленные параметры и время срабатывания отстраиваются от времени КЗ, отслеживаемого быстродействующими защитами. Важно, чтобы установленное время отключения КЗ не превышало предельного времени, требуемого для поддержания устойчивости генератора в таких условиях.

Пуск АРЗКЗ (АРБКЗ) осуществляется на основе фиксации кратковременной несимметрии токов, регистрируемых обратной последовательностью. Сложность аварийного режима и объем управляемой мощности определяются исходя из характеристик сброса активной мощности генераторов, подключенных к резервному энергоблоку электростанции, а также значения и длительности снижения напряжения в прямой последовательности в двух или более точках РУ электростанции. В целом, АРЗКЗ (АРБКЗ) обеспечивает надежный и стабильный режим работы генераторов при наличии КЗ, и является важным элементом в обеспечении электроснабжения в условиях постоянных изменений в нагрузочной сети.

АРЗКЗ (АРБКЗ) подаёт УВ на:

- а) запуск импульсной разгрузки турбины четвертого генератора;
- б) отключение СВ 110кВ;

с) отключение ВЛ 110 кВ, отходящих от той СШ, на которой произошёл отказ выключателя.

Выдержка времени перед подачей УВ выбирается в диапазоне от 0,2 до 5 сек с шагом 0,001 сек. но, должна быть больше суммарного времени срабатывания основной защиты и собственного времени отключения выключателя присоединения и меньше предельно – возможного времени отключения выключателя для обеспечения ДУ. Уставки срабатывания автоматики выбираются по величине остаточного напряжения на шинах станции с контролем суммарного перетока активной мощности станции в предшествующем режиме. По току обратной последовательности (при $I_{НОМ} = 1$ А – диапазон от 0,1 А до 0,3 А, с шагом 0,05 А; при $I_{НОМ} = 5$ А - диапазон от 0,5 А до 1,5 А, с шагом 0,25 А); возможность выбора уставок по напряжению прямой последовательности в диапазоне от 1 до 100 В вторичных с шагом 1 В; возможность выбора уставок по снижению активной мощности (при $I_{НОМ} = 1$ А - диапазон от 0 Вт до 100 Вт с шагом 1 Вт; при $I_{НОМ} = 5$ А - в диапазоне от 0 Вт до 500 Вт с шагом 1 Вт). Также в устройстве АРЗКЗ (АРБКЗ) предусмотрено: блокировка устройства при неисправности цепей напряжения.

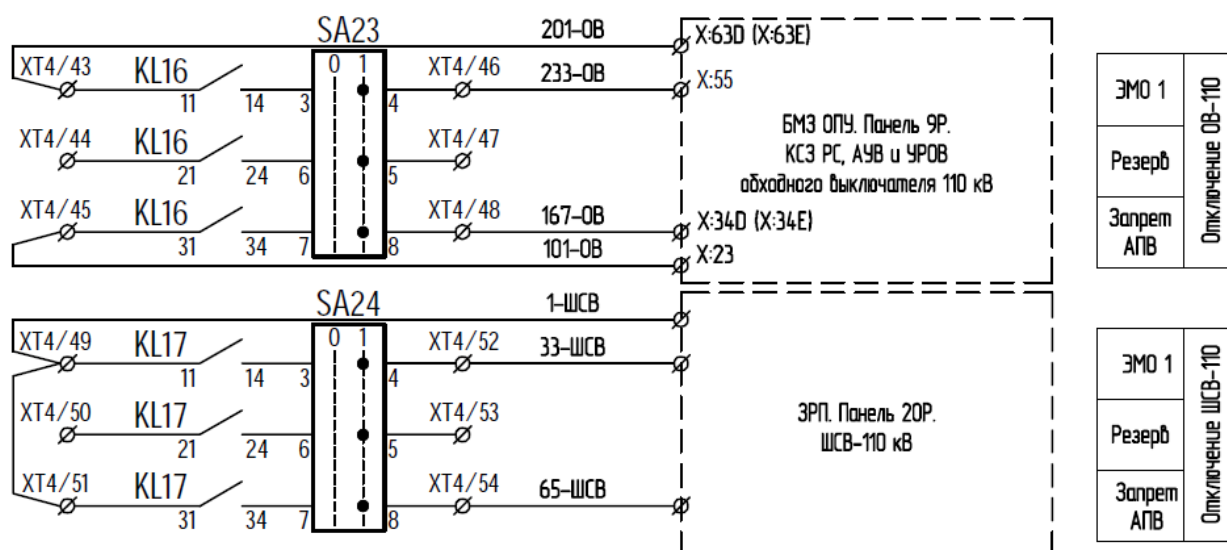


Рисунок 2 – Выходные цепи отключения ВЛ, ОБ – 110 кВ и СВ – 110 от АРЗКЗ

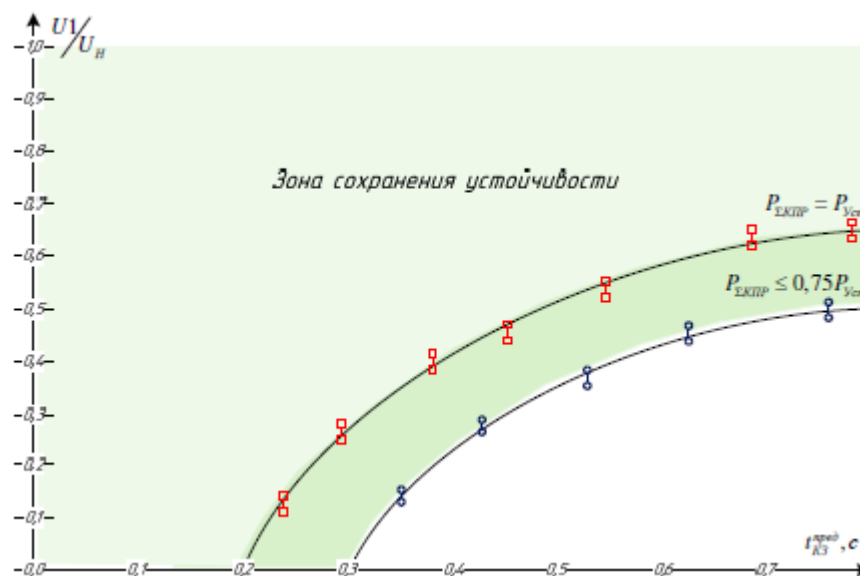


Рисунок 3 – Зависимость напряжения от предельного времени отключения КЗ для различной суммарной генерируемой мощности станции

4. *Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР)*. Предназначена для обнаружения и ликвидации асинхронных режимов в системах. Асинхронный режим - это такое состояние электрической системы, когда несколько генераторов или других источников энергии работают независимо друг от друга, не синхронизовавшись с общей сетью. Принцип работы АЛАР заключается в том, что при обнаружении расхождения работы генераторов между собой и/или с системой подаётся сигнал на высоковольтный выключатель, который отключает генераторы, находящиеся в асинхронном режиме, после формируется и подаётся сигнал для начала синхронизации оставшиеся в работе генераторы с общей сетью и устранение асинхронного режима.

При затянувшихся трехфазных КЗ в прилегающей к Благовещенской ТЭЦ сети, а также нерасчетных повреждениях возможно возникновение асинхронного режима генераторов БТЭЦ относительно энергосистемы.

Для предотвращения асинхронного режима на каждом блоке Благовещенской ТЭЦ установлены два устройства АЛАР - основное и резервное. Каждый блок оснащен двумя различными комплектами ПА, которые работают по двум различным принципам для обеспечения надежности и безопасности работы электростанции.

тростанции. Основное устройство АЛАР основано на анализе изменения величины сопротивления, а резервное - на изменении величины тока. Это обеспечивает дополнительный уровень защиты от возможных сбоев в работе устройств.

При возникновении асинхронного режима на БТЭЦ, устройства АЛАР активируются и действуют на отключение силового выключателя (110 кВ) соответствующего блока. Такие меры позволяют предотвратить возможные аварии и обеспечить безопасную работу электростанции. Однотипность устройств систем РЗА и ПА в ОЭС Востока также обеспечивает единый подход к обеспечению безопасности работы электростанций в регионе.

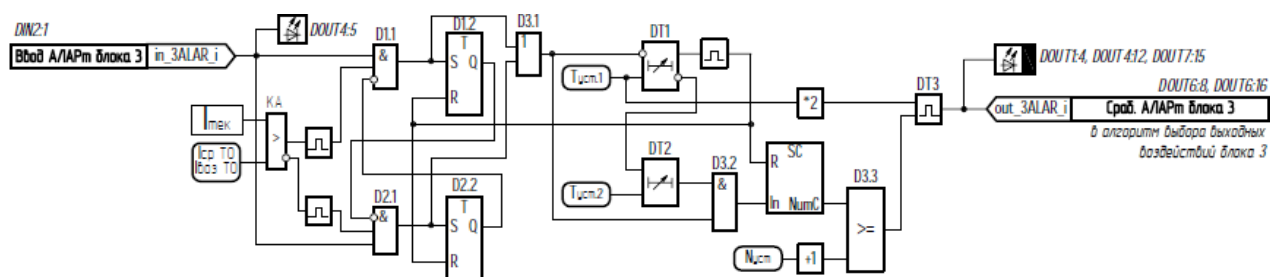


Рисунок 4 – Алгоритм АЛАР третьего блока

Общие требования к АЛАР:

- а) Применение АЛАР не снижает требований к системам регулирования турбин и мероприятиям, обеспечивающим надежную работу энергоблоков при кратковременном АР в условиях повышенной или пониженной частоты в энергосистеме.
- б) Деление по сечению асинхронного режима должно быть, по возможности, сбалансированным.
- в) Ликвидация асинхронного режима посредством деления системы не должна приводить к каскадному развитию аварии или к погашению дефицитной по мощности подсистемы из-за недостаточности в ней объема АЧР.
- г) Кратковременный асинхронный режим допустим если соблюдаются следующие условия:

- отсутствует значимая вероятность перехода двухчастотного АР в много-частотный с появлением дополнительных нарушений синхронизма на смежных или удаленных связях, что может привести к неселективному действию АЛАР;
- токов качаний генераторов, синхронных компенсаторов и двигателей, работающих в асинхронном режиме, не превышают уровень допустимых величин;
- отсутствует недопустимый уровень снижения напряжения в узлах энергетической системы, к которым примыкают электростанции;
- отсутствует недопустимый уровень снижения напряжения на шинах ответственных электроустановок потребителей.

д) На каждой электростанции необходимо определить свой перечень генераторов, для которых допустима работа без возбуждения, с указанием приемлемой величины активной мощности и длительности такого режима.

е) Устройства АЛАР должны обладать селективным действием, обеспечивать выявление и ликвидацию АР в зоне своего контроля и не срабатывать при внешних АР.

ж) Устройства АЛАР должны различать асинхронный режим от режима синхронных качаний, КЗ, других аномальных режимов и обеспечивать блокировку в этих случаях.

Если в зависимости от характера АР необходимо деление в различных сечениях или необходимы различные воздействия в целях ресинхронизации, то должна быть обеспечена избирательность действия устройств АЛАР.

5. *Автоматика ограничения перегрузки оборудования (АОПО)*. Применяется для защиты электрических сетей и оборудования от перегрузок, коротких замыканий и других аварийных ситуаций путём контроля и регулирования параметров тока, напряжения и частоты. Если параметры выходят за допустимые пределы, блок логики АОПО автоматически отключает питание оборудования тем самым ограничивая ток и напряжение до безопасных значений, что позво-

ляет избежать перегрузки и его дальнейшего повреждения. АОПО является одной из подсистем системы автоматизации предотвращения аварий на энергетических объектах, таких как БТЭЦ.

В схеме выдачи мощности Благовещенской ТЭЦ перегрузке подвержены ВЛ 110 кВ, отходящих от Благовещенской ТЭЦ (ВЛ 110 кВ Благовещенская ТЭЦ-Центральная №1,2 с отпайками на ПС 110 кВ Сетевая и ПС 110 кВ Новая, ВЛ 110 кВ Благовещенская ТЭЦ-Благовещенская №1,2 с отпайками на ПС 110 кВ Кооперативная и ПС 110 кВ Чигири и ВЛ 110 кВ Благовещенская ТЭЦ -Западная), от ПС 110 кВ Центральная (ВЛ 110 кВ ПС Центральная – Благовещенская с отпайками на ПС Северная, ВЛ 110 кВ Центральная-Волково) в послеаварийных режимах в ремонтных схемах. На данных ЛЭП, ликвидация перегрузки устройствами АОПО осуществляется по условиям нагрева проводов.

При превышении допустимого тока, воздействия АОПО направлены на:

- а) ограничение мощности БТЭЦ путём действия на длительную разгрузку турбины и при необходимости на отключение генератора меньшей мощности (выбор отключаемого генератора производится путём подачи УВ от АОПО на ШВОГ (шкаф выбора отключаемого генератора));
- б) отключение потребителей на ПС 110 кВ.

Требования к функциональности АОПО:

Если допустимая длительность возможной перегрузки составляет 20 мин и более, то применение АОПО не требуется. В таких случаях разгрузка должна производиться путем применения оперативных мероприятий.

– Определение настройки устройств АОПО должно осуществляться на основе временно-зависимой характеристики допустимой токовой перегрузки элемента сети, ограничивающего величину предельной загрузки связи по току.

– Настройка устройств АОПО должна производиться с контролем температуры воздуха и масла. Рекомендуется настройка устройств АОПО для зимних и летних температур наружного воздуха.

– Допускается выполнять многоступенчатое АОПО по контролируемому току и выдержке времени, осуществляющее ввод последующих ступеней по току

или времени до достижения по контролируемому элементу сети длительно допустимого значения тока.

- Для повышения селективности и минимизации объема выдачи УВ рекомендуется использовать в устройстве АОПО реле тока с коэффициентом возврата не менее 0,95.

- При реверсивных перетоках мощности рекомендуется контролировать направление мощности.

- При перегрузке, превышающей допустимую, сигнал УВ должен формироваться с фиксированной выдержкой времени порядка 10 - 30 секунд (с возможностью оперативного регулирования) или в соответствии с зависимостью выдержки времени от величины перегрузки.

- Должно предусматриваться резервирование действия устройства АОПО на случай, если по каким-либо причинам перегрузка не была устранена после реализации УВ. При этом с дополнительной выдержкой времени должен формироваться сигнал на ввод других УВ или отключение перегруженного оборудования.

6. *Устройство фиксации отключения генераторного блока (ФОБ).* Для фиксации аварийного отключения генераторного блока и состояния «ремонт», «не ремонт» блоков генераторов БТЭЦ на каждом блоке установлено устройство ФОБ. Сигналы от устройств ФОБ БТЭЦ являются пусковыми для автоматики разгрузки при отключении генераторного блока (АРОБ), которая установлена на ПС 220 кВ Благовещенская и передаются по каналам ПА по волоконно-оптической линии связи (ВОЛС).

7. *Регистратор аварийных событий (РАС).* Используется для измерения, вычисления, архивирования и предоставления электрических параметров энергосистемы в номинальном и аварийном режимах. Он позволяет проанализировать информацию и определить причину начала аварийного режима, а также оценить работу систем РЗА, разработать комплекс мероприятий для предотвращения развития аварийного режима. РАС может работать в трех режимах:

постоянном измерении параметров сети и начале работы при выходе за диапазон уставок; по факту срабатывания системы РЗА; по требованию персонала через пульт управления или по требованию вышестоящей структурной организации (например, РДУ) при наличии дистанционной связи.

РАС имеет три вида исполнения:

а) Шкаф - предназначен для сбора, первичной обработки и архивирования сигналов, обнаружения неисправностей, сбоев в работе, событий смены уставок, включения и выключения устройств, в том числе с возможностью регистрации сигналов тока и напряжения, и регистрации состояния сигналов внешних устройств

б) Стационарный - устанавливается в ГЩУ и имеет вид осциллографа (старый вариант) или же полноценный блок РАС с теми же функциями что и в виде шкафа

в) Переносной вариант - предназначен для измерения и контроля параметров нормального и а/р работы оборудования предприятий энергетики и промышленности. Регистратор обеспечивает: цифровую регистрацию физических величин (электрических и неэлектрических) в нормальном и а/р работы оборудования; оперативный контроль режимов работы оборудования; прямые и косвенные измерения физических величин в нормальном и а/р работы оборудования.

На БТЭЦ применяется шкаф РАС от компании «ЭКРА» модели ШЭЭ 23х с применением устройства синхронизации единого времени модели СВ-04 от компании «ЭКРА». Данная конфигурация позволяет формировать и хранить шкалы времени синхронизации ГЛОНАСС и даёт доступ к мониторингу режима работы станции из любой точки страны.

Основными компонентами системы РАС являются:

- а) регистраторы аварийных событий РЭС-3;
- б) сервер РАС;
- в) локальная вычислительная сеть РАС;
- г) система обеспечения единого времени.

2.3 Устройства ПА установленные в прилегающей сети

Следует отметить, что устройства ПА, установленные в прилегающих сетях, имеют взаимосвязь с ПА, установленной на Благовещенской ТЭЦ. Так в районе, питающемся от БТЭЦ, реализуются УВ на разгрузку потребителей от ЛАПНУ Зейской и Бурейской ГЭС для обеспечения устойчивости ОЭС Востока. Для реализации этих сигналов на ПС 110 кВ Западная, ПС 110 кВ Деловой Центр, ПС 110 кВ Портовая и ПС 110 кВ Металлист установлены исполнительные устройства специальной автоматики отключения нагрузки (САОН).

8. *Автоматика разгрузки при отключении генераторного блока (АРОБ).* Эта автоматика начинает работы при отключении генераторного блока на БТЭЦ с контролем перетока мощности по сечению, соединяющему Благовещенский район с ОЭС Востока и выдает сигналы для отключения нагрузки на ПС 110 кВ Сетевая, Новая, Центральная. Отключение блоков непосредственно фиксируется устройствами ФОБ, которые установлены на БТЭЦ. АРОБ установлена в шкафах МКПА № 6, 7 на ПС 220 кВ Благовещенская для ликвидации аварий, связанных с отключением блоков на БТЭЦ, вплоть до полного погашения станции.

9. *Автоматика ограничения снижение напряжения (АОСН).* Комплекс устройств, предназначенный для предотвращения аварийных ситуаций в ЭЭС при резком снижении напряжения. Основные функции, выполняемые АОСН:

1. Определение максимального и минимального допустимых уровней напряжения на выходе генератора или трансформатора.
2. Контроль уровня напряжения на шинах электростанции и ЛЭП
3. Ограничение снижения напряжения путем отключения генератора или трансформатора при превышении допустимых значений.
4. Восстановление нормального уровня напряжения в послеаварийном режиме.
5. Регистрация аварий и передача информации о них в РДУ.
6. Защита от перегрузок и КЗ в ЭЭС.

Для предотвращения снижения напряжения в послеаварийных режимах на шинах ниже допустимого уровня на ПС 110 кВ Западная, ПС 110 кВ Деловой

Центр, ПС 110 кВ Портовая и ПС 110 кВ Metallist установлены локальные АОСН, которые имеют несколько ступеней и в зависимости от степени снижения напряжения действовать на отключение потребителей этих подстанции, опираясь на уровень приоритета потребителей. При восстановлении напряжения на шинах этих ПС, АОСН также имеет возможность включения отключенной нагрузки с учетом очередности нагрузки (приоритета потребителей), либо по команде диспетчера РДУ.

10. *Автоматическая частотная разгрузка (АЧР)*. Данная система используется для защиты генератора и ЭУ от превышения номинальной частоты. Принцип работы АЧР заключается в непрерывном измерении частоту напряжения генератора, и, если эта частота превышает установленное значение подаются УВ для изменения момента инерции генератора путем изменения нагрузки. АЧР установлена на ПС 110 кВ Западная, ПС 110 кВ Деловой Центр, ПС 110 кВ Портовая и ПС 110 кВ Metallist, которое содержит четыре ступени АЧР-1 и четыре ступени АЧР-2, спецочереди АЧР по скорости снижения частоты, с индивидуальными уставками по частоте и времени и с подключением нагрузки в соответствии со стандартом ОАО «СО ЕЭС» «Технические правила организации в ЕЭС России автоматического ограничения снижения частоты при аварийном дефиците активной мощности (автоматическая частотная разгрузка)». Устройство АЧР действует на отключение нагрузочных линий. Для исключения ложных срабатываний АЧР должна быть предусмотрена блокировка срабатывания от пропадаания или исчезновения измерительного напряжения: ожидание или режим срабатывания. Для обеспечения быстрого восстановления питания потребителей после восстановления частоты отключенных от АЧР используется частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ), с блокировкой при пониженном напряжении или повторном срыве частоты.

3 РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ

Расчеты параметров схемы для противоаварийной автоматики производится в именованных единицах приближенным методом, используя систему симметричных составляющих. В первую очередь, на исходной электрической схеме защищаемой сети отмечают условные точки КЗ. В данном случае будет произведёт расчёт условного трёхфазного короткого замыкания на ЛЭП 110 кВ Благовещенская ТЭЦ – ПС Благовещенская. Следующим этапом необходимо составить расчётную схему замещения прямой последовательности (т.к. принимаем условное трёхфазное КЗ, токи обратной и нулевой последовательности отсутствуют), которая составляется из схем замещения отдельных элементов, и указанием мест условных КЗ. Нагрузку следует представить в комплексном виде. После чего осуществляется выбор режима для принимаемой ПА, а также расчёт полных значений токов в точках КЗ и распределение токов по ветвям схемы. [30]

В выпускной квалификационной работе предполагается определить уровень статической устойчивости при отключении одного элемента сети, показатель нормального уровня статической устойчивости обеспечивается при запасе в 20% и более.

3.1 Определение параметров схемы замещения

Перед составлением схемы замещения и дальнейшими расчетами следует отметить следующие принятые упрощения:

- 1) Предполагается, что скорость вращения роторов изменяется в пределах (2-3 %) синхронной скорости.
- 2) Напряжение и ток статора и ротора генератора изменяются мгновенно.
- 3) Нелинейность параметров системы не учитывается.
- 4) Переход от одного режима к другому осуществляется изменением собственных и взаимных сопротивлений схемы, а также ЭДС генераторов и двигателей.

Находим параметры элементов схемы замещения

$$S_{\sigma} = S_H = 130 \text{ МВА.} \quad (1)$$

$$U_{\sigma} = U_H = 110 \text{ кВ.} \quad (2)$$

$$U_{*H} = U_{*c} = 1 \text{ о.е.} \quad (3)$$

Необходимо перевести в о.е. значения всех мощностей, напряжений и ЭДС. При этом учитываем, что к базисным условиям приводятся как полные мощности, так и их составляющие.

$$P_{*H} = \frac{P_H}{S_{\sigma}} \quad (4)$$

$$P_{*H} = \frac{404}{130} = 3,108 \text{ о.е.}$$

$$Q_{*H} = \frac{Q_H}{S_{\sigma}} = P_H \cdot \frac{\sqrt{(1 - \cos \varphi)^2}}{\cos \varphi} \quad (5)$$

$$Q_{*H} = 3,108 \cdot \frac{\sqrt{(1 - 0,8)^2}}{0,8} = 2,331 \text{ о.е.}$$

$$X_{*T1} = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{HT1}} \quad (6)$$

$$X_{*T1} = \frac{10,8}{100} \cdot \frac{130}{80} = 0,176 \text{ о.е.}$$

$$X_{*T2} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{130}{125} = 0,109 \text{ o.e.}$$

$$X_{*T3} = 0,109 \text{ o.e.}$$

$$X_{*T4} = \frac{11,05}{100} \cdot \frac{130}{160} = 0,09 \text{ o.e.}$$

$$X_{*AT1} = \frac{U_{K\%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{HAT}} \tag{7}$$

$$X_{*AT1} = \frac{11}{100} \cdot \frac{130}{125} = 0,114 \text{ o.e.}$$

$$X_{*AT2} = \frac{11}{100} \cdot \frac{130}{125} = 0,114 \text{ o.e.}$$

$$X_{*II} = X_{II} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}}^2} \tag{8}$$

$$X_{*II} = 2,2 \cdot \frac{130}{110^2} = 0,024 \text{ o.e.}$$

$$X_{*II2} = X_{*II} = 0,024 \text{ o.e.}$$

$$X_{*II3} = 6,4 \cdot \frac{130}{110^2} = 0,069 \text{ o.e.}$$

$$X_{* Л4} = 6,8 \cdot \frac{130}{110^2} = 0,073 \text{ о.е.}$$

$$X_{* Л5} = 8 \cdot \frac{130}{110^2} = 0,086 \text{ о.е.}$$

$$X_{* Л6} = 8,4 \cdot \frac{130}{110^2} = 0,09 \text{ о.е.}$$

$$X_{* Г} = X_{Г} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{Ном.Г}}} \quad (9)$$

$$X_{* Г1} = 1,915 \cdot \frac{130}{63} = 3,952 \text{ о.е.}$$

$$X_{* Г2} = 1,907 \cdot \frac{130}{100} = 2,479 \text{ о.е.}$$

$$X_{* Г3} = X_{* Г3} = 2,479 \text{ о.е.}$$

$$X_{* Г4} = 2,5 \text{ о.е.}$$

При дальнейшем расчёте индекс «*» пропускаем.

Для упрощения расчетов необходимо получить эквивалентные сопротивления для каждого типа оборудования. Для этого производим расчёт, используя формулу (10):

$$X_{\text{Экв}} = \frac{X_{n1} \cdot X_{n2}}{X_{n1} + X_{n2}} \quad (10)$$

$$X_{T1Экв} = \frac{0,176 \cdot 0,055}{0,176 + 0,055} = 0,042$$

$$X_{T1Экв} = \frac{0,042 \cdot 0,09}{0,042 + 0,09} = 0,029$$

Таблица 3 – Эквивалентные сопротивления элементов

Наименование	Эквивалентное сопротивление, о.е.
$X_{Т.Экв}$	0,029
$X_{АТ.Экв}$	0,057
$X_{Г.Экв}$	0,685
$X'_{Г.Экв}$	0,09
$X_{Л.Экв}$	0,007

Для нахождения полного сопротивления сети в нормальном режиме необходимо рассчитать нагрузки на шинах Благовещенской ТЭЦ и ПС Благовещенская, ввиду недостатка данной информации, за нагрузку принимаем номинальную мощность трансформаторов в узлах всех ответвлений рассматриваемой сети, с учётом коэффициента загрузки ($K_{заг}=0,7$) и коэффициента спроса. Информацию о типах электроустановок города и их режимах сложно оценить, но т.к. для осветительной нагрузки $K_{СП}=1$, а для мест соцкультбыта $K_{СП}=0,3$ принимаем среднее число коэффициента спроса $K_{СП}=0,65$.

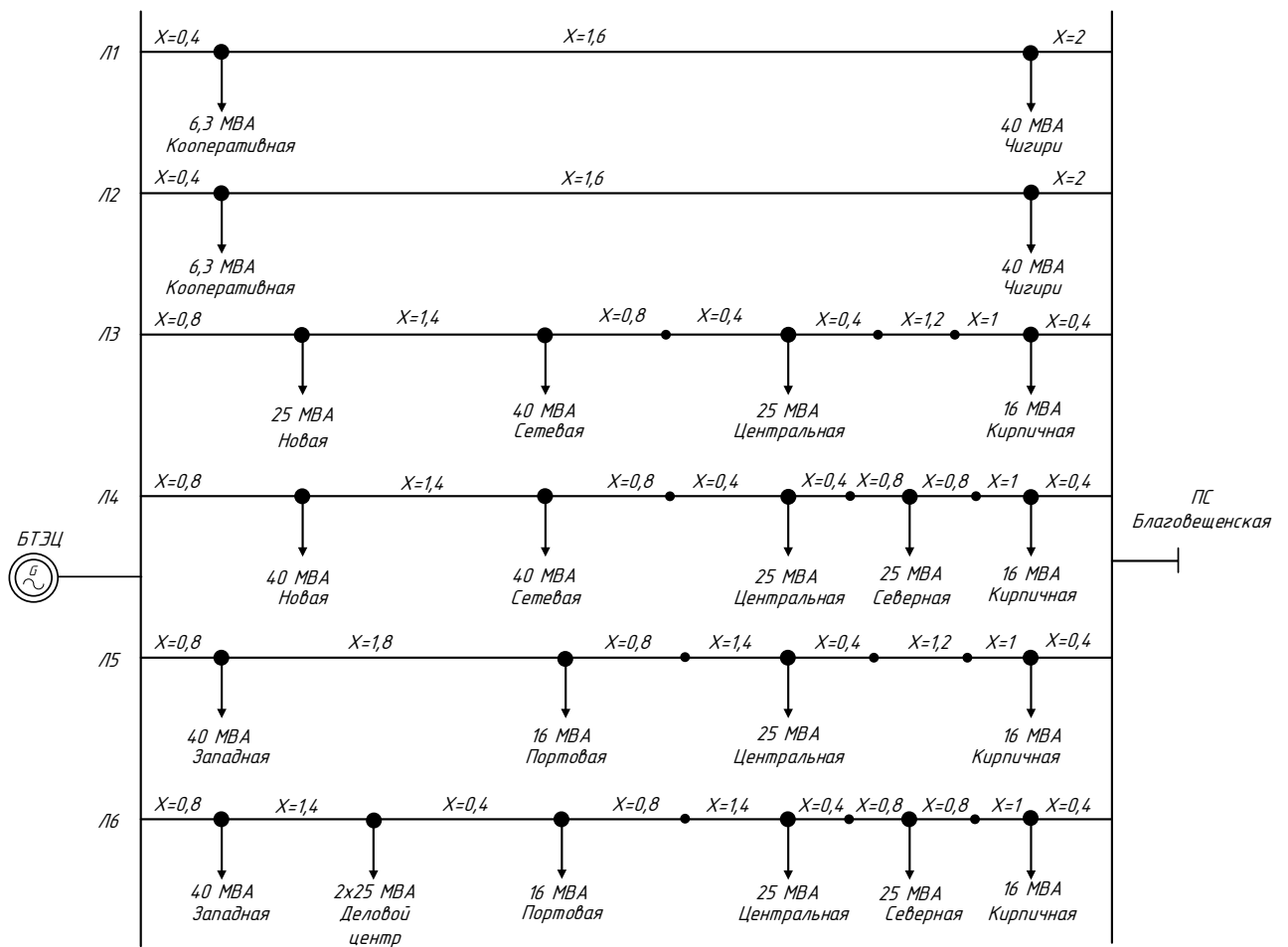


Рисунок 6 – Схема замещения электрических соединений Благовещенская ТЭЦ – ПС Благовещенская

Расчёт производим методом разнесения нагрузок по концам участка, по формулам (11) и (12). Так как нагрузка в узлах задана в виде мощностей, то для разнесения необходимо ввести допущение: потери мощности на участке А-В-С отсутствуют.

$$S' = S_A \frac{X_{AC}}{X_{BC} + X_{AC}} \quad (11)$$

$$S'' = S_A \frac{X_{BA}}{X_{BA} + X_{AC}} \quad (12)$$

$$S'_{ПС.К} = 6,3 \cdot \frac{1,6}{0,4 + 1,6} = 3,528$$

$$S''_{ПС.К} = 6,3 \cdot \frac{0,4}{0,4 + 1,6} = 0,882$$

$$S'_{ПС.Ч} = 40 \cdot \frac{2}{1,6 + 2} = 15,556$$

$$S''_{ПС.Ч} = 40 \cdot \frac{1,6}{1,6 + 2} = 12,44$$

$$S_{ЛЛ.БТЭЦ} = S'_{ПС.К} + S'_{ПС.Ч} \tag{13}$$

$$S_{ЛЛ.БТЭЦ} = 3,528 + 15,556 = 19,084$$

$$S_{ЛЛ.ПС.Блз} = S''_{ПС.К} + S''_{ПС.Ч} \tag{14}$$

$$S_{ЛЛ.БТЭЦ} = 0,882 + 12,44 = 13,326$$

Расчёт разнесения нагрузок производился с помощью РТС Mathcad Prime 4.0 и изложен в приложении Б.

Таблица 4 – Распределение мощностей по концам ЛЭП

Номер линии	Нагрузка на шинах Благовещенской ТЭЦ, МВА	Нагрузка на шинах ПС Благовещенская, МВА
2	3	4
1	19,084	13,326
2	19,084	13,326
3	54,64	55,797

2	3	4
4	81,081	85,502
5	49,409	55,101
6	122,373	133,178
Суммарная нагрузка на шинах, МВА	345,67	356,23

После домножения на коэффициент спроса и коэффициент мощности получим следующие значения:

$$\Delta S = S \cdot k_{СП} \cdot \cos \phi \quad (15)$$

$$\Delta S_{БТЭЦ} = 345,67 \cdot 0,65 \cdot 0,8 = 179,748 \text{ МВА}$$

$$\Delta S_{ПС.Баз} = 356,23 \cdot 0,65 \cdot 0,8 = 185,24 \text{ МВА}$$

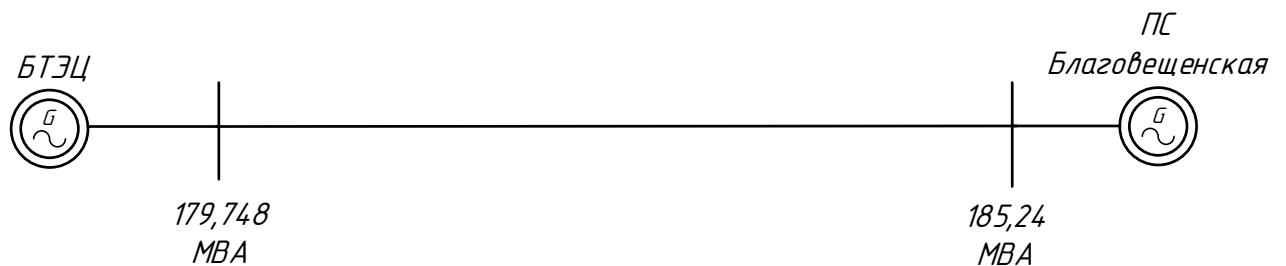


Рисунок 7 – Распределение мощностей по углам ЛЭП

Следующим шагом необходимо преобразовать полученные мощности нагрузок в эквивалентные сопротивления и выполнить расчёт для схемы замещения:

$$X_{\text{Экв}} = \frac{U^2}{\Delta S} \quad (16)$$

$$X_{\text{Экв.БТЭЦ}} = \frac{110^2}{179,748} = 67,316$$

$$X_{\text{Экв.ПС.Блг}} = \frac{110^2}{185,24} = 65,321$$

$$Z = (X \cdot \cos \phi + (X \cdot \sin \phi)i) \cdot k_{\text{баз}} \quad (17)$$

$$Z_{\text{БТЭЦ}} = (67,316 \cdot 0,8 + (67,316 \cdot 0,6)i) \cdot 0,01 = 0,576 + 0,432i$$

$$Z_{\text{ПС.Блг}} = (65,321 \cdot 0,8 + (65,321 \cdot 0,6)i) \cdot 0,01 = 0,576 + 0,432i$$

Подробный расчёт схемы замещения производился с помощью РТС Mathcad Prime 4.0 и изложен в приложении А.

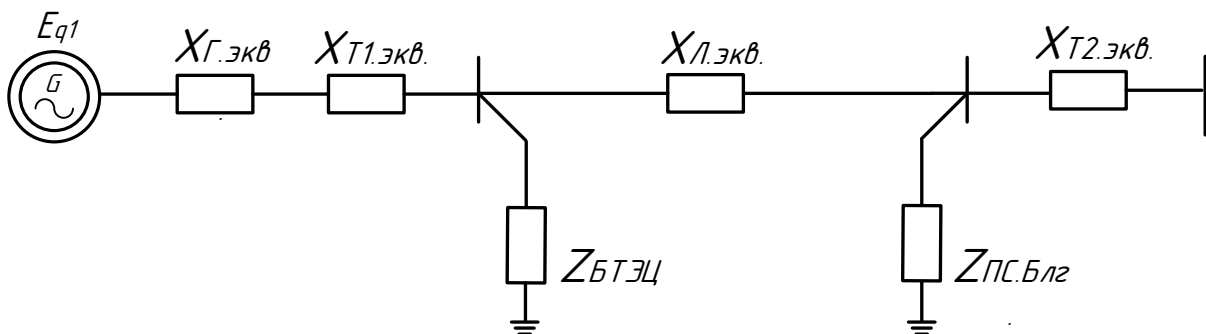


Рисунок 8 – Схема замещения нормального режима

$$X_4 = X_{Г.Экв} + X_{Т1.Экв} + \frac{X_{Л.Экв} \cdot Z_{БТЭЦ}}{X_{Л.Экв} + Z_{БТЭЦ} + Z_{ПС.Блг}} \quad (18)$$

$$X_4 = 0,09i + 0,029i + \frac{0,007i \cdot (0,576 + 0,432i)}{0,007i + 0,576 + 0,432i + 0,587 + 0,441i} = 0,123i$$

$$X_5 = 0,061i$$

$$X_3 = 0,228 + 0,214i$$

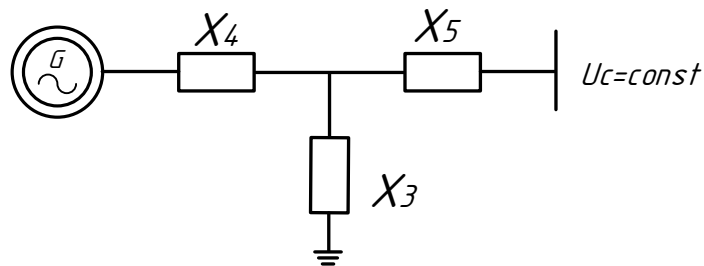


Рисунок 9 – Преобразование треугольник – звезда

$$X_{H.P.} = X_4 + X_5 + \frac{X_4 \cdot X_5}{X_3} \quad (19)$$

$$X_{H.P.} = 0,123i + 0,061i + \frac{0,123i \cdot 0,061i}{0,228 + 0,214i} = 0,195 \text{ о.е.}$$

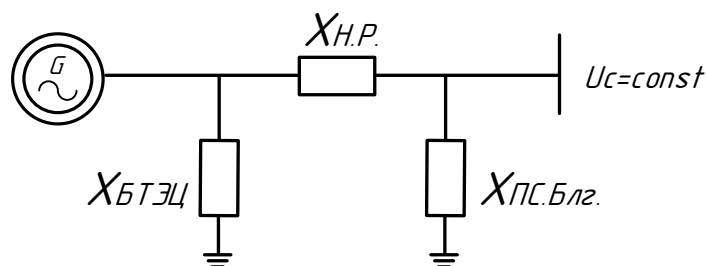


Рисунок 10 – Преобразование звезды – треугольник

3.2 Расчет исходного установившегося режима

При расчетах, в схеме замещения генератор представляется индуктивным сопротивлением X_G и приложенной за ним ЭДС E_G . Величина сопротивлений и ЭДС варьируются от типа генератора, вида АРВ и метода регулирования.

Производим расчет сопротивления и ЭДС для двух типов, учитывая тип используемого генератора – турбогенератор.

1) Турбогенератор без АРВ

Находим внешнее сопротивление сети:

$$X_{BH} = X_{T.Экв} + X_{Л.Экв} \quad (20)$$

$$X_{BH} = 0,029 + 0,007 = 0,036 \text{ о.е.}$$

Находим синхронную ЭДС генератора:

$$E_q = \sqrt{\left(U_\Gamma + \frac{Q_H \cdot (X_{\Gamma.Экв} + X_{BH})}{U_\Gamma} \right)^2 + \left(\frac{P_H \cdot (X_{\Gamma.Экв} + X_{BH})}{U_\Gamma} \right)^2}, \quad (21)$$

$$E_q = \sqrt{\left(1 + \frac{2,331 \cdot (0,685 + 0,036)}{1} \right)^2 + \left(\frac{3,108 \cdot (0,685 + 0,036)}{1} \right)^2} = 3,494 \text{ о.е.}$$

Угол между векторами напряжения системы и ЭДС генератора:

$$\delta = \arctg \left(\frac{P_H \cdot (X_{\Gamma.Экв} + X_{BH})}{U_\Gamma^2 + Q_H \cdot (X_{\Gamma.Экв} + X_{BH})} \right) \cdot \frac{180}{\pi}, \quad (22)$$

$$\delta = \arctg \left(\frac{3,108 \cdot (0,685 + 0,036)}{1^2 + 2,331 \cdot (0,685 + 0,036)} \right) \cdot \frac{180}{3,14} = 39,89^\circ.$$

2) Турбогенератор с АРВ ПД

Находим синхронную ЭДС генератора:

$$E' = \sqrt{\left(U_C + \frac{Q_H \cdot (X'_{Г.Экв} + X_{ВН})}{U_C} \right)^2 + \left(\frac{P_H \cdot (X'_{Г.Экв} + X_{ВН})}{U_C} \right)^2} \quad (23)$$

$$E' = \sqrt{\left(1 + \frac{2,331 \cdot (0,09 + 0,036)}{1} \right)^2 + \left(\frac{3,108 \cdot (0,685 + 0,036)}{1} \right)^2} = 2,588 \text{ о.е.}$$

Угол между векторами напряжения системы и ЭДС генератора:

$$\delta' = \arctg \left(\frac{P_0 \cdot (X'_{Г.Экв} + X_{ВН})}{U_C^2 + Q_0 \cdot (X'_{Г.Экв} + X_{ВН})} \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (24)$$

$$\delta' = \arctg \left(\frac{3,108 \cdot (0,09 + 0,036)}{1^2 + 2,331 \cdot (0,09 + 0,036)} \right) \cdot \frac{180}{3,14} = 16,85^\circ.$$

Продольная составляющая переходной ЭДС:

$$E'_q = E' \cdot \cos(\delta - \delta') \quad (25)$$

$$E'_q = 2,588 \cdot \cos(0,696 - 0,294) = 2,382 \text{ о.е.}$$

4 АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

4.1 Расчет статической устойчивости

При выполнении расчётов предполагается, что устройства АРВ безинерционны и обеспечивают отсутствие самораскачивания. Предел передаваемой мощности определяется максимумом статической угловой характеристики мощности $P_{E_r} = f(\delta_r)$. Учёт действия устройств АРВ производится путём введения соответствующих ЭДС $E_r = const$, приложенных за соответствующими сопротивлениями X_r . [21, 22, 23]

Коэффициент запаса статической устойчивости по мощности определяется как

$$K_p = \frac{P_m - P_0}{P_m} \cdot 100\% . \quad (26)$$

При расчёте запаса статической устойчивости при наличии АРВ ПД турбогенератор определяется приближённо и без учёта явнополюсности при:

$$E'_q = const \text{ и } X_r = X'_d . \quad (27)$$

$$P_{mE'_q} = \frac{E'_q \cdot U_*}{X'_{d\Sigma}} ; \quad (28)$$

$$\text{где } X'_{d\Sigma} = X'_{Г.Экв} + X_{\text{внешн}} \quad (29)$$

$$X'_{d\Sigma} = 0,09 + 0,036 = 0,126 \text{ о.е.}$$

$$P_{mE'q} = \frac{2,382 \cdot 1}{0,126} = 18,905 \text{ о.е.};$$

$$K_p = \frac{18,905 - 3,108}{18,905} = 0,83 \text{ о.е}$$

Далее строим угловую характеристику мощности для генератора с АРВ

ПД:

$$P_{E'_q}(\delta) = \frac{E'_q \cdot U_H}{X'_{d\Sigma}} \cdot \sin \delta - \frac{U_H^2}{2} \cdot \frac{(X_d - X'_d) \cdot \sin 2\delta}{(X_d + X_c) \cdot (X'_d + X_c)}; \quad (30)$$

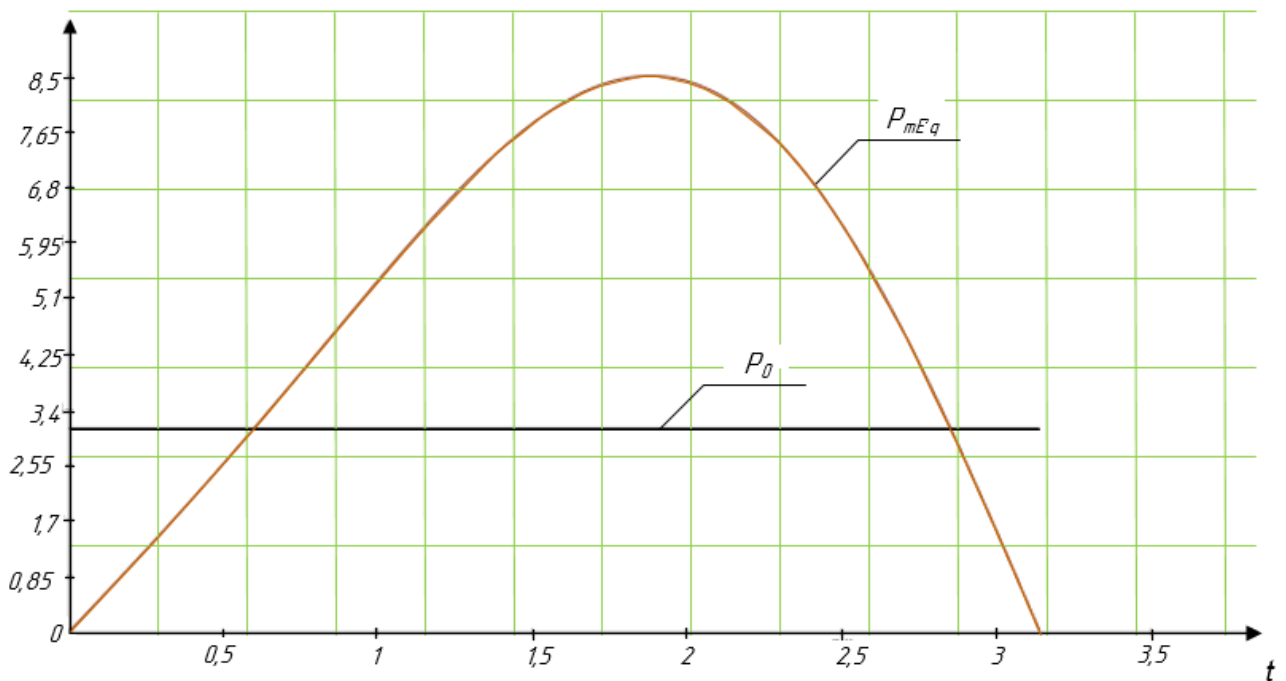


Рисунок 11 – Угловая характеристика мощности турбогенератора

По полученным путём расчётов данным, можем с уверенностью сказать, что при коротком замыкании, уровень статической устойчивости сохраняется выше требуемого, которым является 20% в нормальном, а также аварийном режимах и 12% в послеаварийном режиме.

4.2 Расчёт динамической устойчивости

Исследования динамической устойчивости основываются на методах численного решения дифференциального уравнения относительного движения ротора генератора.

При выполнении упрощённых расчётов принимаются следующие основные допущения:

- 1) мощность турбины неизменна в течении всего переходного режима;
- 2) генерируемая мощность изменяется мгновенно при изменении схемы электропередачи из-за КЗ или коммутации;
- 3) апериодические моменты, обусловленные потерями мощности, не учитываются.

С учётом указанных допущений, для простейшей схемы электропередачи, дифференциальное уравнение относительного движения ротора может быть записано в виде [29]:

$$\frac{T_j \cdot d^2\delta}{314 \cdot f_0 \cdot dt^2} = P_0 - P, \quad (31)$$

где T_j – постоянная инерции ротора генератора, с;

t – время, с;

f_0 – частота, ($f_0 = 50$ Гц);

δ – угол, град;

$P_0 = P_H$ – мощность турбины.

Мощность генератора определяется по угловой характеристике мощности без учёта явнополюсности:

$$P = \frac{E'_q \cdot U_H}{X_i} \cdot \sin \delta \quad (32)$$

где X_i – взаимное сопротивление между точкой приложения ЭДС E' и шинами системы U_H для состояния « n » схемы.

Расчёт динамической устойчивости производится дважды: без учёта (приближённый расчёт по правилу площадей и методом последовательных интервалов) и с учётом реакции якоря генератора и действия АРВ (уточнённый расчёт методом последовательных интервалов).

4.2.1 Оценка динамической устойчивости по правилу площадей.

При расчёте по правилу площадей, строятся угловые характеристики мощности с $E'_q = const$. Генератор в схеме замещения своим имеет переходное сопротивление X'_d . Взаимное сопротивление $X_{12}^{(n)}$ определяется с учётом сопротивления аварийного шунта $\Delta X^{(n)}$, зависящего от вида КЗ. [21, 22, 23]

Находим режимы работы системы при КЗ на самой длинной ЛЭП Благовещенская ТЭЦ – ПС Благовещенская:

- 1) Нормальный режим.

$$X_{н.р.} = X'_{Г.Экв} + X_{ВН} \quad (33)$$

$$X_{н.р.} = 0,09 + 0,036 = 0,126 \text{ о.е.}$$

- 2) Схема замещения первого аварийного режима: произошло трёхфазное КЗ, но оба силовых выключателя линии ещё включены. Схема приведена на рисунке 12:

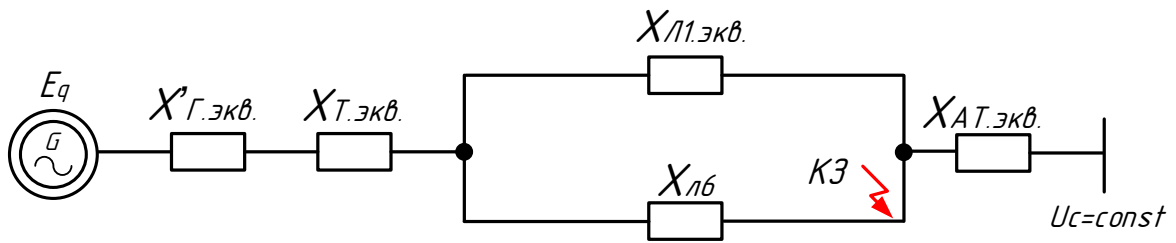


Рисунок 12 – Схема замещения первого аварийного режима

При трёхфазном КЗ сопротивление нулевой и обратной последовательности отсутствуют, соответственно сопротивление шунта равняется нулю, следовательно, сопротивление первого аварийного режима бесконечно.

Находим сопротивление первого аварийного режима

$$X_1 = X_{Г.экв.} + X_{Т.экв.} + X_{Л1.экв.} + X_{Л6} \quad (34)$$

$$X_1 = 0,09 + 0,029 + 0,008 + 0,09 = 0,217 \text{ о.е.}$$

$$X_2 = X_{АТ.экв.} \quad (35)$$

$$X_{III} = 0$$

$$X_{ав1} = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_{III}} \Rightarrow X_{ав1} = \infty \quad (36)$$

$$P_{ав1}(\delta) = \frac{E_q' \cdot U_C}{X_{ав1}} \cdot \sin(\delta). \quad (37)$$

3) Схема замещения второго аварийного режима (отключился выключатель Q2):

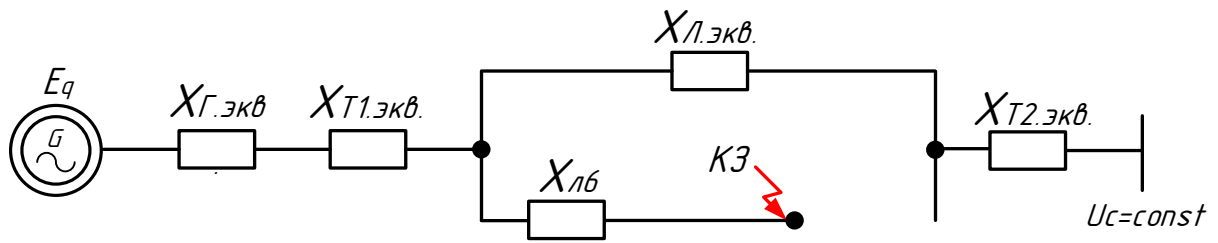


Рисунок 13 – Схема замещения второго аварийного режима

$$X_3 = X'_{Г.Экв} + X_{Т.Экв} + X_{Л1.Экв} \quad (38)$$

$$X_3 = 0,09 + 0,029 + 0,008 = 0,127 \text{ о.е.}$$

$$X_4 = X_{АТ.Экв} \quad (39)$$

$$X_5 = X_{Ш} + X_{Л6} \quad (40)$$

$$X_5 = 0 + 0,09 = 0,09 \text{ о.е.}$$

$$X_{ав2} = X_3 + X_4 + \frac{X_3 \cdot X_4}{X_5} \quad (41)$$

$$X_{ав2} = 0,127 + 0,057 + \frac{0,127 \cdot 0,057}{0,09} = 0,264 \text{ о.е.}$$

$$P_{ав2}(\delta) = \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{ав2}} \cdot \sin(\delta). \quad (42)$$

4) Схема замещения послеаварийного режима (отключился выключатель Q1). Схема приведена на рисунке 14:

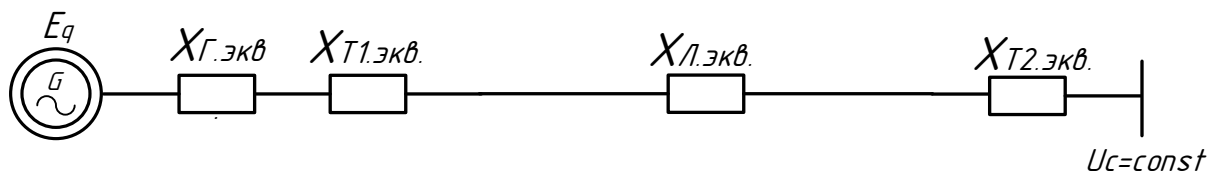


Рисунок 14 – Схема замещения послеаварийного режима

$$X_{n/a} = X_{Г.экв} + X_{Т.экв} + X_{Л1.экв} + X_{АТ.экв} \quad (43)$$

$$X_{n/a} = 0,09 + 0,029 + 0,008 + 0,057 = 0,184 \text{ о.е.}$$

$$P_{ПА}(\delta) = \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{ПА}} \cdot \sin(\delta). \quad (44)$$

Угловые характеристики мощности нормального, аварийного и послеаварийного режимов:

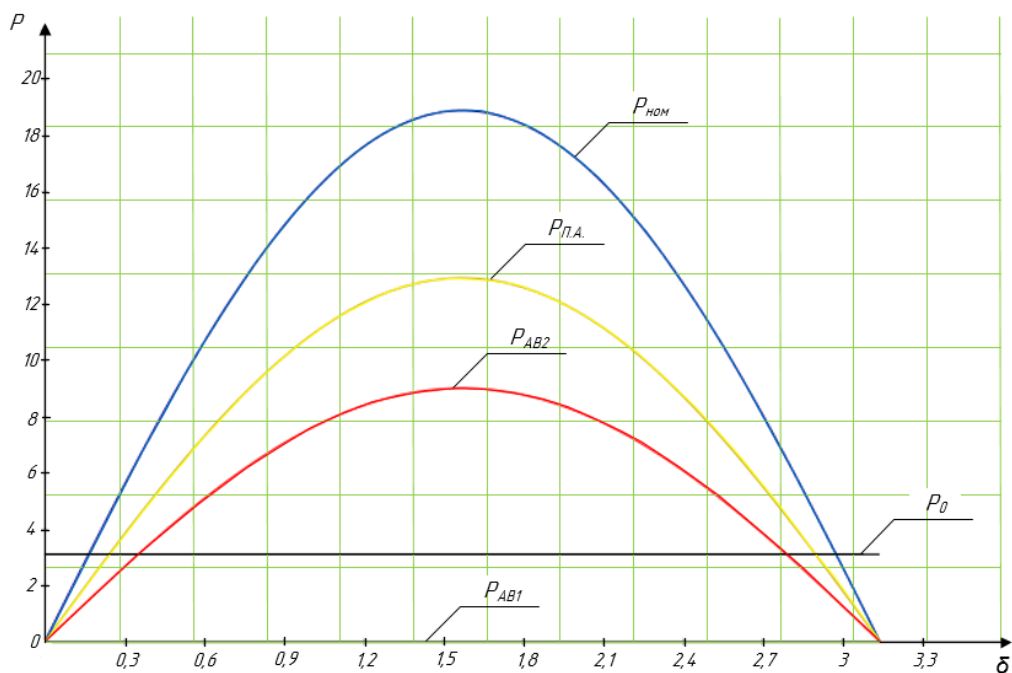


Рисунок 15 – Угловые характеристики мощности нормального, аварийного и послеаварийного режимов

Повторяем расчёт, а также строим угловые характеристики мощностей режимов работы системы по формулам (33-44) при том же виде КЗ, и теми же допущениями, но уже для самой короткой ЛЭП Благовещенская ТЭЦ – ПС Благовещенская. Подробный расчёт описан в приложении А.

$$X_{н.р.} = 0,126 \text{ о.е.}$$

$$X_{ав1} = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_{III}} \Rightarrow X_{ав1} = \infty$$

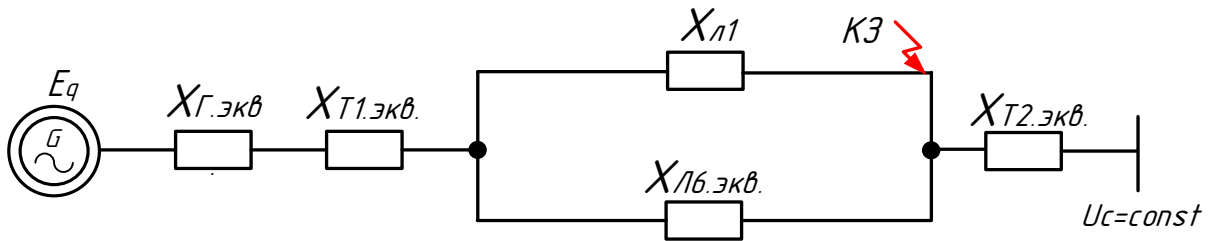


Рисунок 16 – Схема замещения первого аварийного режима

$$X_{ав2} = 0,496 \text{ о.е.}$$

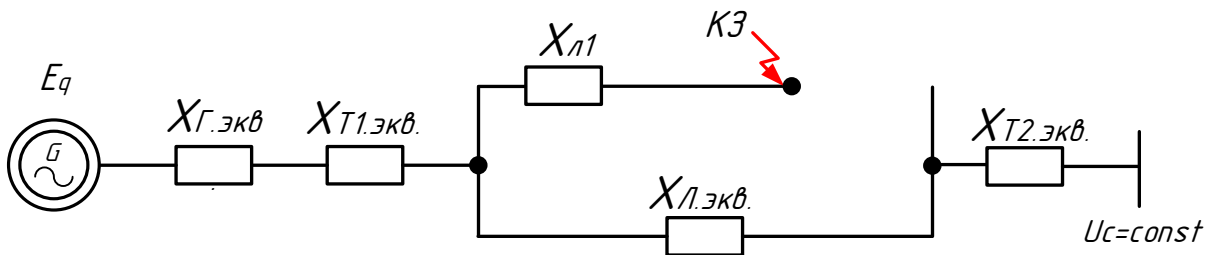


Рисунок 17 – Схема замещения второго аварийного режима

$$X_{n/a} = 0,187 \text{ о.е.}$$

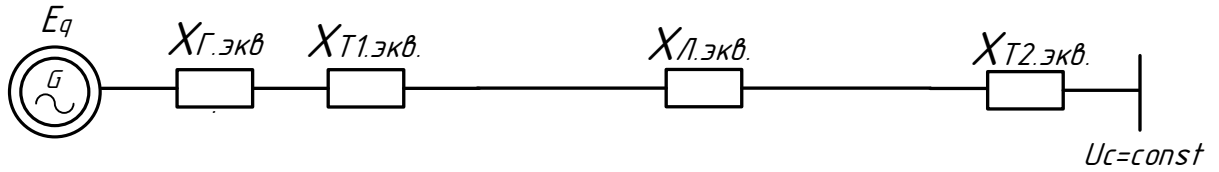


Рисунок 18 – Схема замещения послеаварийного режима

Угловые характеристики мощности нормального, аварийного и послеаварийного режимов:

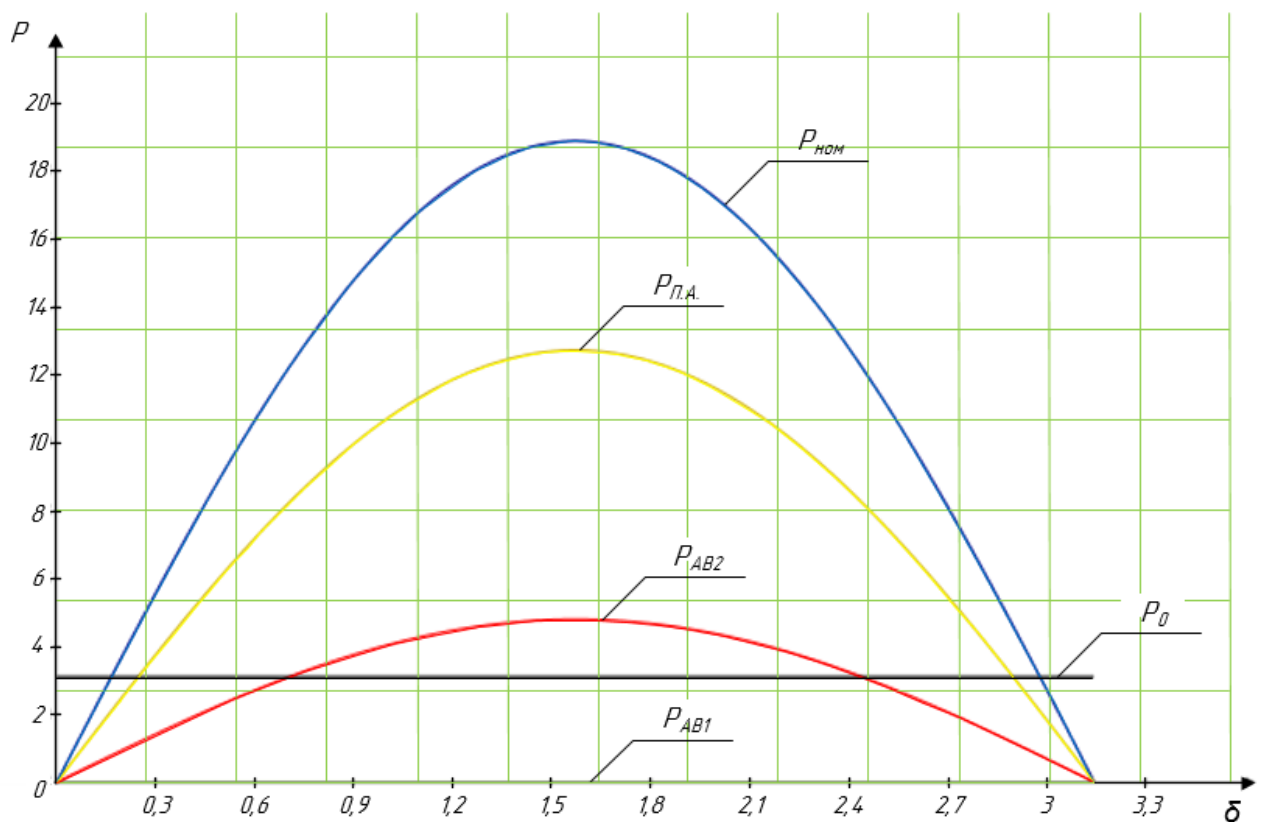


Рисунок 19 – Угловые характеристики мощности нормального, аварийного и послеаварийного режимов

На построенных графиках видно, что послеаварийный режим близок к нормальному режиму работы сети. Основываясь на это можно сделать вывод: при трёхфазных замыканиях во всех двух точках схемы турбогенератор сохраняет свою динамическую устойчивость.

4.2.2 Приближенный расчет динамической устойчивости методом последовательных интервалов

При приближённом расчёте метод последовательных интервалов используется для численного интегрирования дифференциального уравнения (28). В результате определяются зависимости $\delta = f(t)$ и $a = f(t)$. При этом переходный процесс разбивается на малые отрезки времени ($\Delta t = 0,05$ с), на протяжении которых ускорение a считается неизменным. [28]

Порядок расчёта следующий:

1) Определяется разность между мощностью турбины и мощностью генератора (на примере первого интервала):

$$a_{(1)} = \frac{(P_H - P_{a61} \cdot \sin(\delta_0)) \cdot 314}{T_{J.сум}}, \quad (45)$$

$$\text{где } T_{J.сум} = T_J \cdot \frac{\sum S_{Г.ном}}{S_б} \quad (46)$$

$$T_{J.сум} = 8 \cdot \frac{63 + 100 \cdot 2 + 130}{130} = 24,185$$

$$a_{(1)} = \frac{(3,108 - 0 \cdot \sin(0,216)) \cdot 314}{24,185} = 40,352$$

$$\Delta\delta_{(1)} = \frac{\Delta t^2}{2} \cdot a_{(1)} \quad (47)$$

$$\Delta\delta_{(1)} = \frac{0,05^2}{2} \cdot 40,352 = 0,05 \text{ рад/с}^2,$$

$$\delta_{(1)} = \delta_0 + \Delta\delta_{(1)} \quad (48)$$

$$\delta_{(1)} = 0,165 + 0,05 = 0,215^\circ.$$

При отключении КЗ, когда разность мощностей внезапно изменяется от $\Delta P'_{(n)}$ до $\Delta P''_{(n)}$, приращение угла в $n + 1$ интервале определяется по выражению:

$$\Delta\delta_{(n+1)} = \Delta\delta_{(n)} + \frac{1}{2} \cdot (a'_{(n)} + a''_{(n)}) \cdot \Delta t^2. \quad (49)$$

По рассмотренному алгоритму расчёт продолжается либо до начала уменьшения угла δ , что свидетельствует о сохранении устойчивости, либо до предельного по условиям устойчивости угла δ_{KP} .

По результатам проведенных расчетов строятся зависимости $\delta = f(t)$ и $a = f(t)$.

Составляется циклограмма для заданного алгоритма развития переходного процесса, из которой определяются моменты времени, в которые происходит переход от одного расчетного режима к другому. Циклограмма представлена на рисунке 20.

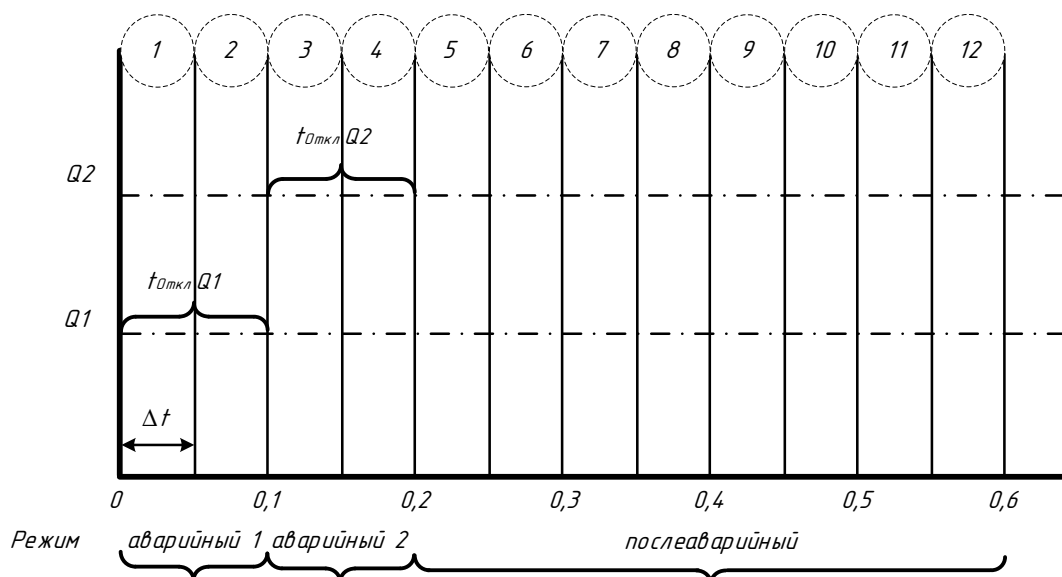


Рисунок 20 – Циклограмма развития переходного процесса

По рассмотренному алгоритму расчёт продолжается либо до начала уменьшения угла δ , что свидетельствует о сохранении устойчивости, либо до предельного по условиям устойчивости угла $\delta_{КР}$.

Расчёт разнесения нагрузок производился с помощью PTC Mathcad Prime 4.0 и изложен в приложении А.

Результаты расчёта записываем в таблицу 5.

Таблица 5 – Приближенный расчёт динамической устойчивости

Место КЗ	КЗ на линии 6		КЗ на линии 1	
	δ , рад	a , рад/с ²	δ , рад	a , рад/с ²
1	0,215	40,352	0,215	40,352
2-1	0,335	40,352	0,349	40,352
2-2	0,335	15,359	0,349	27,051
3	0,46	1,837	0,531	19,032
4-1	0,528	-11,656	0,67	8,78
4-2	0,528	-34,267	0,67	-49,396
5	0,485	-44,328	0,653	-62,347
6	0,347	-38,009	0,486	-60,129

7	0,167	-16,809	0,227	-36,896
8	0,018	12,413	-0,024	3,132
9	-0,038	37,327	-0,163	44,321
10	0,023	46,738	-0,136	67,353
11	0,175	36,486	0,049	62,774
12	0,355	11,088	0,315	32,252

По этим данным строим зависимости $\delta = f(t)$ и $a = f(t)$ показанные на рисунках 21 и 22.

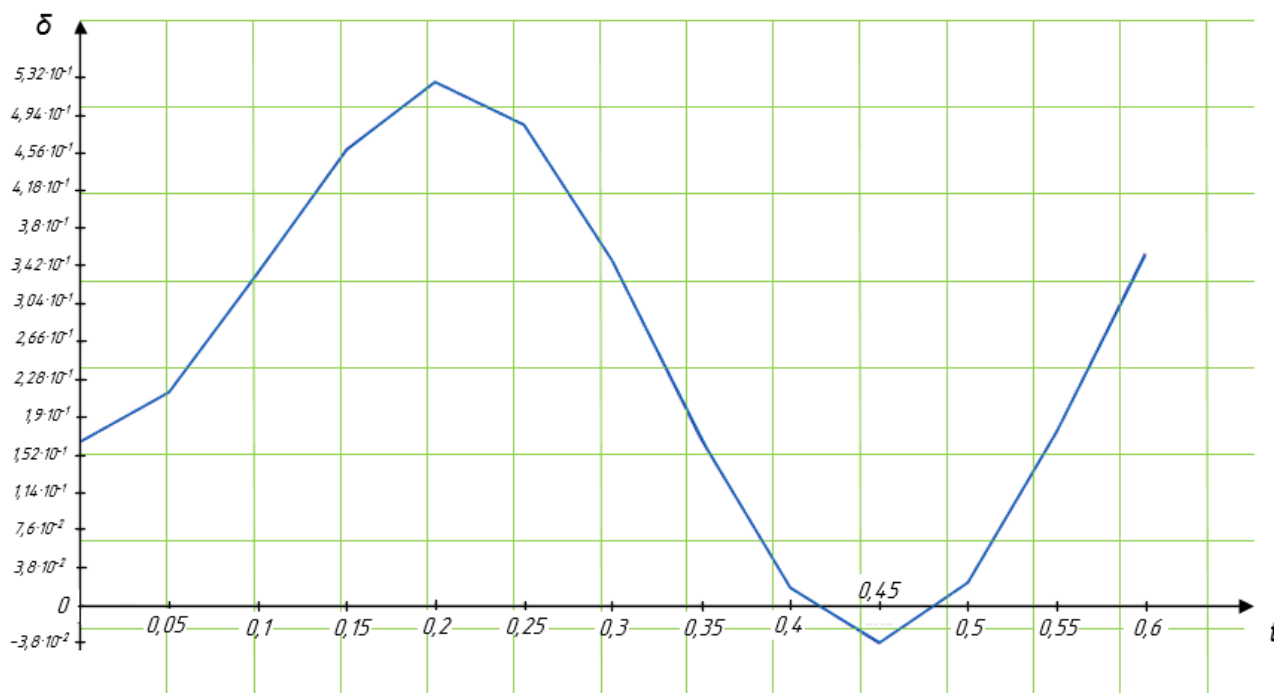


Рисунок 21 – Зависимость угла от времени при КЗ на линии 6

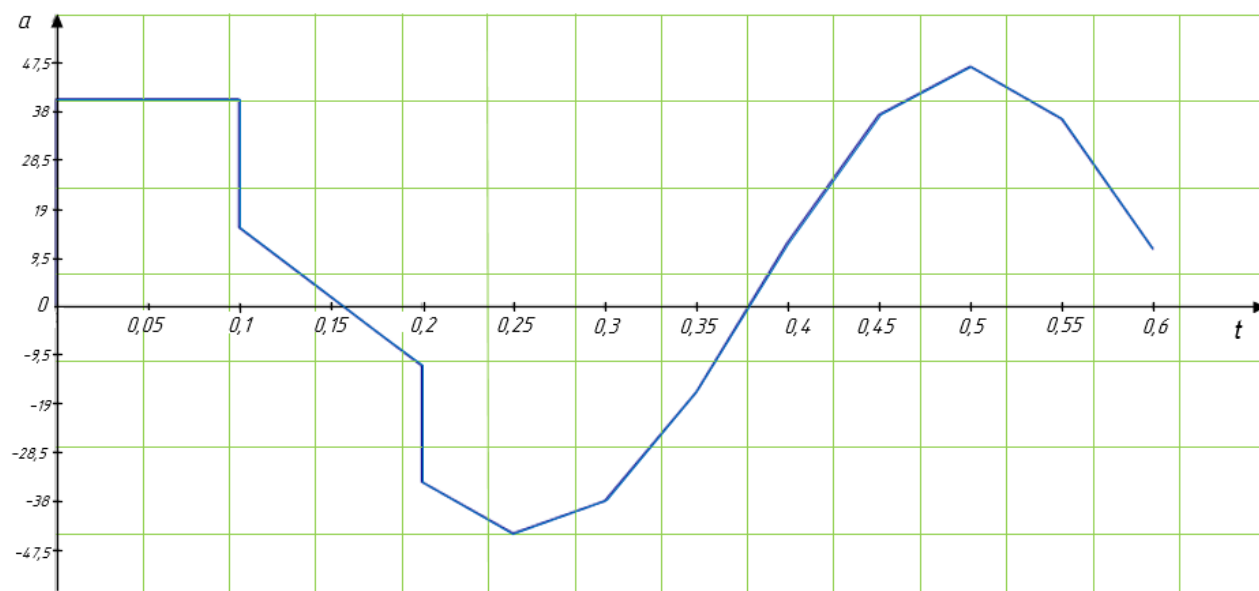


Рисунок 22 – Зависимость ускорения от времени при КЗ на линии 6

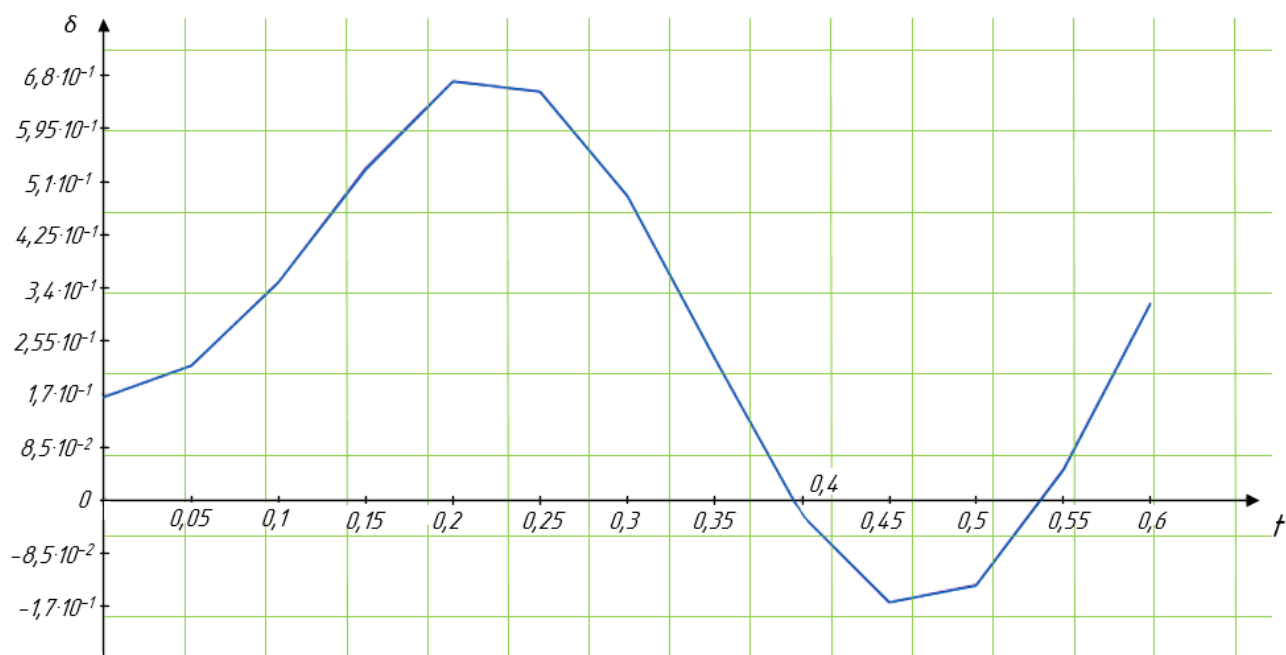


Рисунок 23 – Зависимость угла от времени при КЗ на линии 1



Рисунок 24 – Зависимость ускорения от времени при КЗ на линии 1

Также был произведён расчёт алгоритма развития переходного процесса с утяжелением КЗ путём увеличения времени работы силовых выключателей линий 6 и 1 после чего определили моменты времени, в которые происходит переход от одного расчетного режима к другому. Циклограмма представлена на рисунке 25.

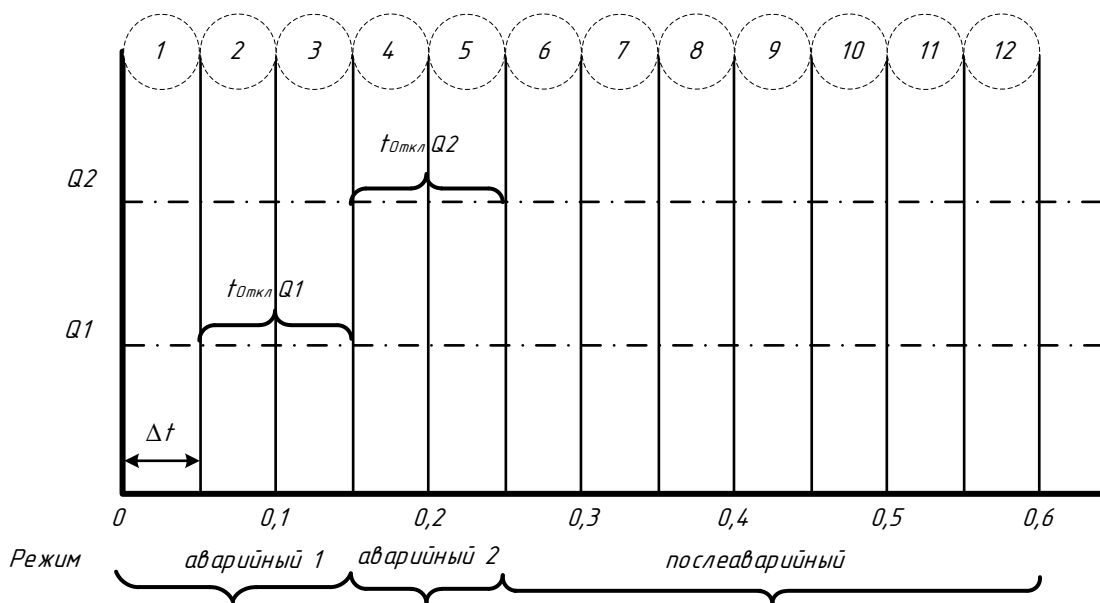


Рисунок 25 – Циклограмма развития переходного процесса

По рассмотренному алгоритму расчёт продолжается либо до начала уменьшения угла δ , что свидетельствует о сохранении устойчивости, либо до предельного по условиям устойчивости угла δ_{KP} .

Результаты расчёта записываем в таблицу 6.

Таблица 6 – Приближенный расчёт динамической устойчивости

Место КЗ	КЗ на линии 6		КЗ на самой линии 1	
	δ , рад	a , рад/с ²	δ , рад	a , рад/с ²
1	0,215	40,252	0,215	40,352
2	0,366	40,352	0,366	40,352
3-1	0,565	40,352	0,59	40,352
3-2	0,565	-1,573	0,59	18,04
4	0,708	-22,371	0,828	5,665
5-1	0,72	-35,831	0,957	-5,571
5-2	0,72	-68,954	0,957	-81,464
6	0,556	-70,478	0,849	-94,841
7	0,271	-48,36	0,532	-83,786
8	-0,026	-4,643	0,106	-43,539
9	-0,211	44,722	-0,263	22,854
10	-0,207	75,555	-0,424	83,347
11	-0,016	74,897	-0,314	108,391
12	0,283	43,041	0,025	93,432

По этим данным строим зависимости $\delta = f(t)$ и $a = f(t)$ показанные на рисунках 26 и 27.

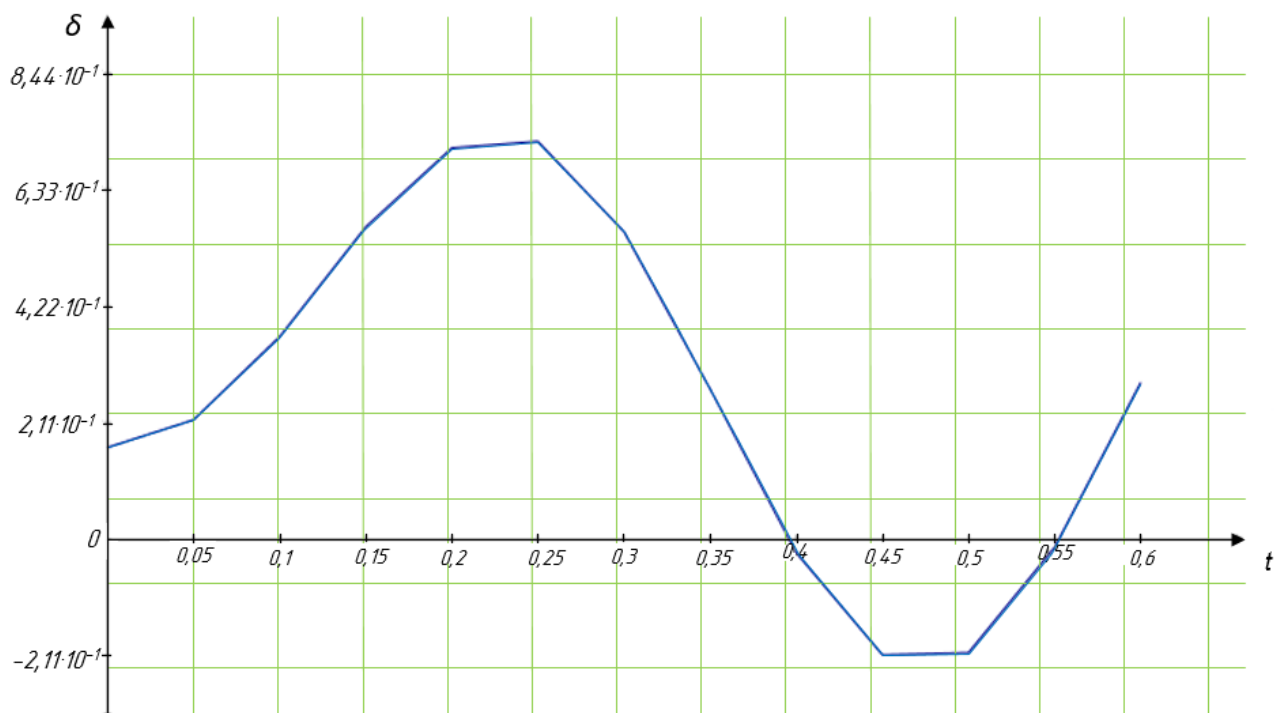


Рисунок 26 – Зависимость угла от времени при затяжном КЗ на линии б

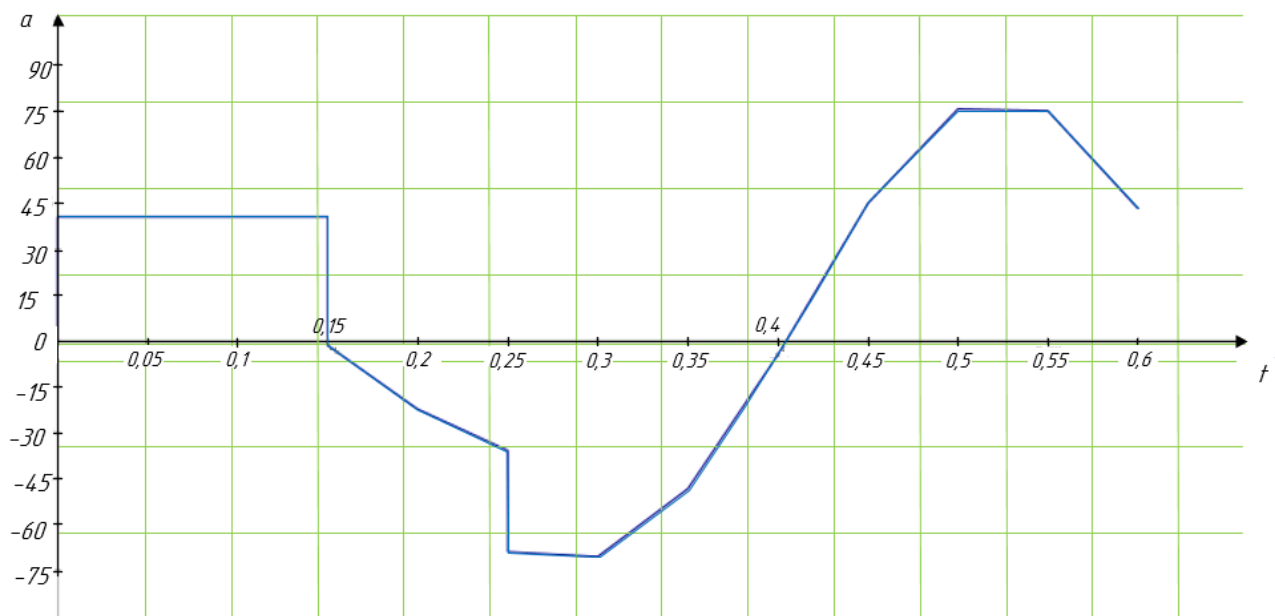


Рисунок 27 – Зависимость ускорения от времени при затяжном КЗ на линии б

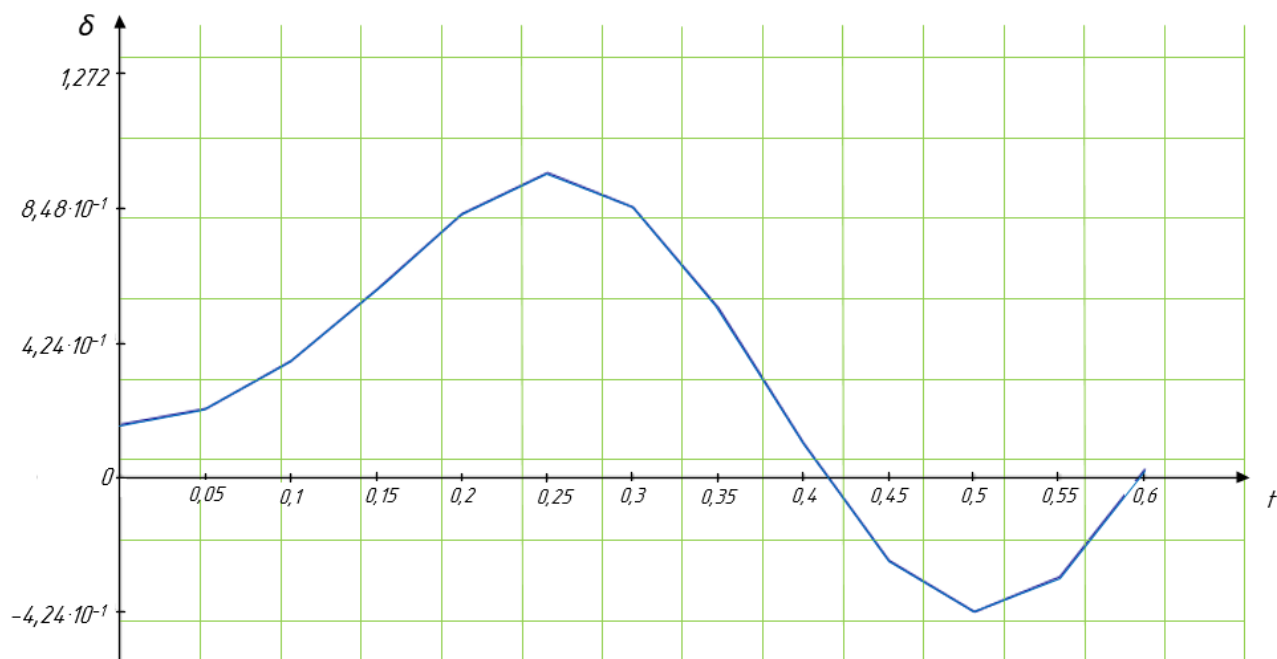


Рисунок 28 – Зависимость угла от времени при затяжном КЗ на линии 1

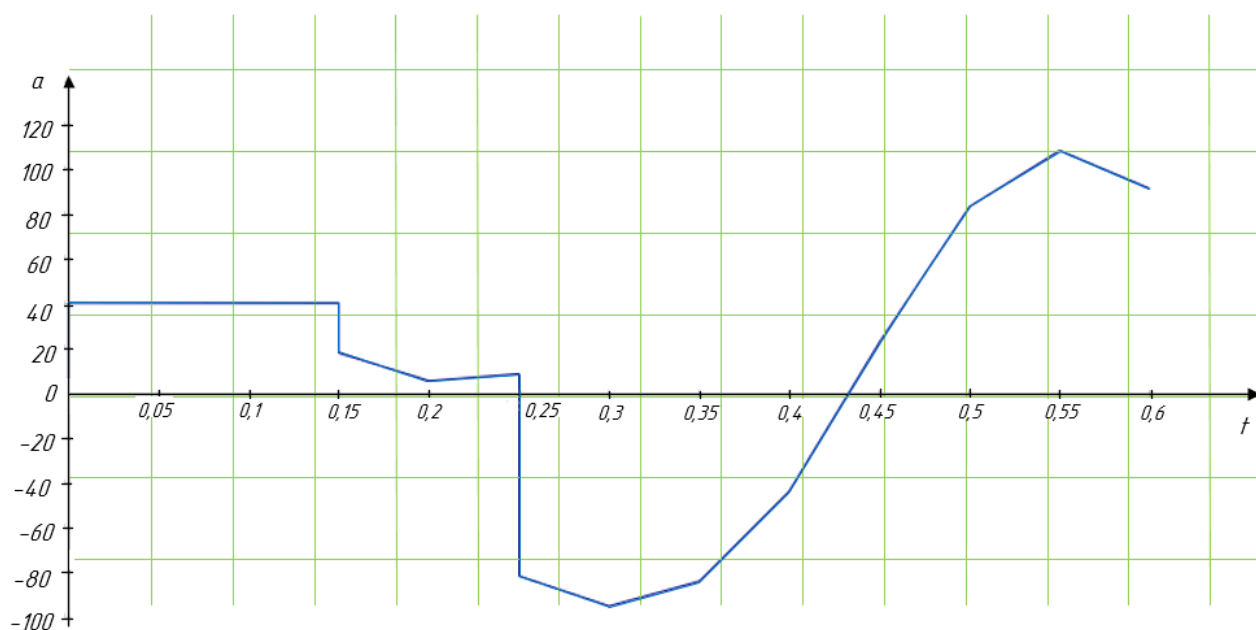


Рисунок 29 – Зависимость ускорения от времени при затяжном КЗ на линии 1

Исходя из графиков, полученных методом последовательных интервалов можем сделать вывод: во всех рассмотренных точках КЗ, турбогенератор сохраняет свою динамическую устойчивость, как в обычном режиме, так и при затяжных коротких замыканиях.

5 РАСЧЁТ ИМПУЛЬСНОЙ РАЗГРУЗКИ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

5.1 Способы сохранения динамической устойчивости

Для сохранения динамической устойчивости электроэнергетической системы необходимо изменять баланс мощности в системе и перераспределять небалансовые моменты, чтобы ограничить амплитуды взаимных качаний и перейти к новому установившемуся режиму. Существуют несколько способов воздействия на систему: изменение параметров генерирующих элементов (управление возбуждением; применение импульсной разгрузки турбин; электрическое торможение генераторов), изменение состава генерирующей подсистемы (отключение одного или нескольких генераторов) и изменение структуры потребляющей подсистемы (отключение нагрузки или её части). Выбор конкретного способа зависит от типа станций и структуры электрической сети.

Противоаварийное управление делится на два вида:

- Кратковременная разгрузка турбогенератора (КРТ);
- Длительная разгрузка турбогенератора (ДРТ);

Для изменения параметров генерирующих элементов в энергосистеме можно использовать различные методы. Один из них - управление возбуждением синхронных генераторов. Это позволяет изменять выходное напряжение и активную мощность генераторов. Кроме того, можно использовать импульсную разгрузку турбин или электрическое торможение генераторов для изменения параметров генерации. Для изменения состава генерирующей подсистемы можно отключать генераторы, а для изменения структуры потребляющей подсистемы - отключать часть нагрузки. Это позволяет балансировать энергетическую систему и поддерживать ее работоспособность в различных режимах.

Управление возбуждением синхронных генераторов может быть менее эффективным, чем другие методы, такие как применение импульсной разгрузки турбин или электрическое торможение генераторов. Настройка автоматической

регулировки возбуждения (АРВ) синхронных генераторов может быть сложной и может не обеспечивать оптимальную динамическую устойчивость, особенно в случае больших возмущений. Однако, управление возбуждением все еще является важной частью системы управления энергетической системы, используемой для регулирования напряжения и поддержания стабильности системы в номинальном режиме работы.

Отключение части нагрузки является одним из методов, используемых в энергетических системах в условиях дефицита генерирующей мощности. В этом случае, система автоматического отключения нагрузки (САОН) может быть активирована для отключения части нагрузки. Однако, эффективность САОН как средства повышения ДУ ограничена, и она применяется в основном для облегчения динамического перехода. Есть и другие методы, такие как управление возбуждением синхронных генераторов, применение импульсной разгрузки турбин и электрическое торможение генераторов, которые могут быть более эффективными для поддержания ДУ при больших возмущениях.

5.2 Требования к управляющим воздействиям при разгрузке турбин

Амплитуда и длительность прямоугольной части импульса КРТ должна максимально соответствовать результатам экспериментального определения зависимостей глубины разгрузки от параметров импульса (импульсной диаграммы).

а) Допускается КРТ с коррекцией в темпе процесса с подачей нескольких импульсов, длительность которых определяется в темпе процесса управления в зависимости от изменения режимных параметров, например, скольжения S , скорости его изменения dS/dt и др.

б) При выборе состава агрегатов, участвующих в аварийной разгрузке, следует учитывать ожидаемую частоту и дозировку КРТ, обеспечивать участие агрегатов в ПАУ с учетом ресурса каждого агрегата.

в) Допускается применение агрегатных устройств ограничения мощности как содержащих контур регулирования с обратной связью по (отклонению) мощности агрегата, так и не содержащих такого контура. Первые рекомендуются к применению, в первую очередь, из-за большей точности ограничения мощности.

г) Рекомендуется использовать автоматические стационарные устройства распределения нагрузки. С помощью стационарного устройства производится распределение разгрузки по агрегатам (блокам) с учетом их регулировочного диапазона, распределения агрегатов в случае осуществления деления системы. Допускается применение устройств с оперативным заданием распределения.

д) Если суммарный регулировочный диапазон электростанции при КРТ или ДРТ оказывается недостаточным, следует применять ОГ или дополнительно, или вместо ИРТ и ДРТ.

е) ДРТ паровой турбины должна сопровождаться соответствующей разгрузкой котла через систему автоматического регулирования.

5.2 Импульсная разгрузка паровых турбин (ИРТ)

Для обеспечения ДУ в ЭЭС с избытком мощности используется метод ИРТ, который заключается в изменении механической мощности турбины с последующим восстановлением мощности до сниженного значения в послеаварийном режиме. Этот метод позволяет уменьшить нагрузку на генераторы и поддерживать номинальные значения напряжения в системе в условиях возникновения возмущений.

Когда речь идет о системе регулирования турбины, важно понимать, что ее динамическая устойчивость является ключевым фактором для обеспечения эффективной работы. В этом контексте использование импульсного воздействия для регулирования системы приобретает особую важность. Однако, для того чтобы добиться желаемого результата, необходимо учитывать множество факторов, включая анализ переходных процессов, экспериментально полученные импульсные диаграммы и предшествующий режим работы. Только в таком случае можно дозировать интенсивность импульсного воздействия на

систему регулирования турбины с максимальной точностью и эффективностью. Не менее важно учитывать условия, при которых предотвращается переторможение, так как это может негативно повлиять на работу системы и привести к нежелательным последствиям.

Использование импульсной разгрузки турбин импульсная разгрузка турбин также известной как аварийное управление мощностью паровых турбин является одним из наиболее эффективных способов сохранения работоспособности энергоблоков и обеспечения непрерывности производства электроэнергии. Отключение генераторов может привести к серьезным потерям и прерыванию работы, поэтому импульсная разгрузка турбин является более экономически целесообразным решением [11].

Расчет динамического перехода турбогенераторов, на турбинах которых реализуется импульсная разгрузка, проводится с учетом корректировки величины P_0 . Для этого в формулу, по которой вычисляется разность мощностей в начале соответствующего интервала, вводится поправочный коэффициент b . Расчет импульсной разгрузки турбины производится с тремя вариантами поправочных коэффициентов, которые указаны в таблицах 7, 8 и 9.

Таблица 7 – Поправочные коэффициенты для расчёта ИРТ по первому варианту

Интервал, i	1	2	3	4	5	6	7	8
Время t_i	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
Коэффициент, b	1	1	1	1	0,9	0,8	0,7	0,6
Интервал, i	9	10	11	12	13	14	15	16
Время t_i	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
Коэффициент, b	0,53	0,47	0,43	0,41	0,41	0,42	0,45	0,48

Таблица 8 – Поправочные коэффициенты для расчёта ИРТ по второму варианту

Интервал, i	1	2	3	4	5	6	7	8
Время t_i	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
Коэффициент, b	1	1	1	1	0,97	0,89	0,77	0,39
Интервал, i	9	10	11	12	13	14	15	16
Время t_i	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
Коэффициент, b	0,3	0,3	0,32	0,36	0,42	0,48	0,54	0,6

Таблица 9 – Поправочные коэффициенты для расчёта ИРТ по третьему варианту

Интервал, i	1	2	3	4	5	6	7	8
Время t_i	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
Коэффициент, b	1	1	0,91	0,77	0,6	0,44	0,29	0,24
Интервал, i	9	10	11	12	13	14	15	16
Время t_i	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
Коэффициент, b	0,38	0,51	0,62	0,72	0,8	0,54	0,92	0,98

Таблица 10 – Результаты расчётов ИРТ по первому варианту

1	2	3	4
Интервал	a , рад/с ²	$\Delta\delta$, рад	δ , рад
1	40,352	0,05	0,215
2-1	40,352	0,134	0,349
2-2	27,051	0,134	0,349
3	19,032	0,182	0,531
4-1	8,78	0,139	0,67
4-2	-43,396	0,139	0,67
5	-66,382	-0,027	0,643
6	-66,881	-0,194	0,449

1	2	3	4
7	-43,54	-0,303	0,146
8	0,151	-0,303	-0,157
9	47,245	-0,185	-0,342
10	74,429	0,001	-0,341
11	72,66	0,183	-0,158
12	42,566	0,289	0,131
13	-5,059	0,276	0,407
14	-48,519	0,155	0,562
15	-69,97	-0,02	0,542
16	-65,943	-0,185	0,357

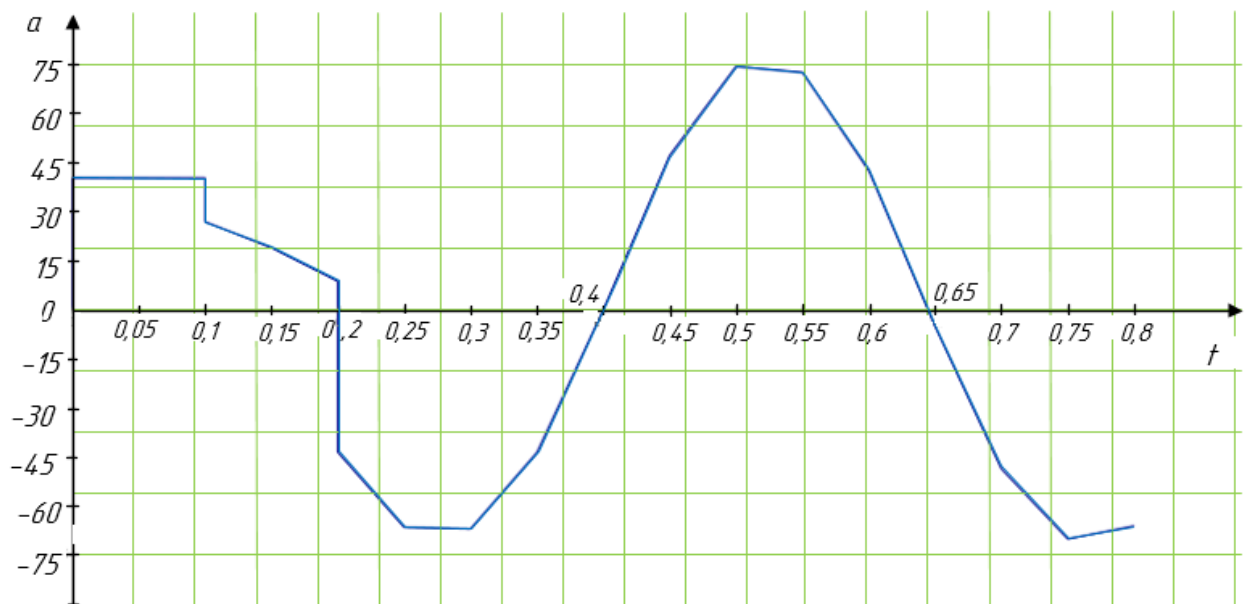


Рисунок 30 – Зависимость ускорения от времени при КЗ на линии 6 для первого варианта группы коэффициентов

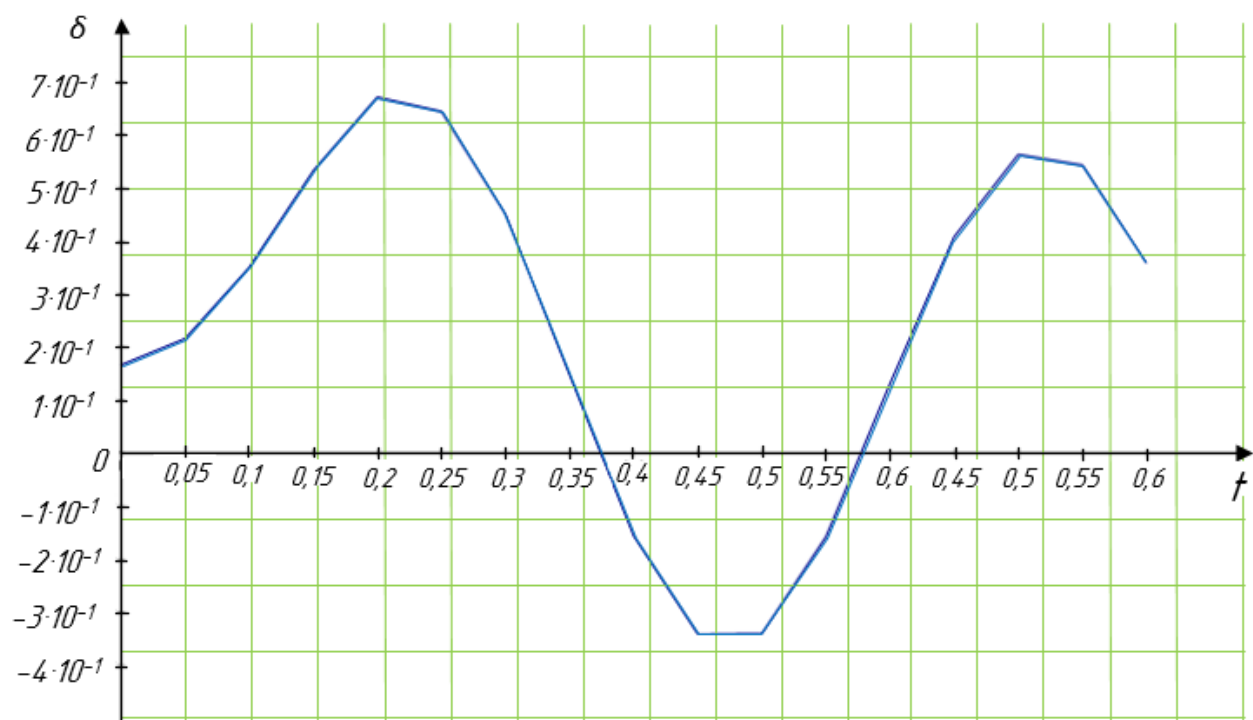


Рисунок 31 – Зависимость угла от времени при КЗ на линии б для первого варианта группы коэффициентов

Таблица 11 – Результаты расчётов ИРТ по второму варианту

1	2	3	4
Интервал	a , рад/с ²	$\Delta\delta$, рад	δ , рад
1	40,352	0,05	0,215
2-1	40,352	0,134	0,349
2-2	27,051	0,134	0,349
3	19,032	0,182	0,531
4-1	8,78	0,139	0,67
4-2	-43,396	0,139	0,67
5	-63,558	-0,02	0,643
6	-63,249	-0,178	0,465
7	-43,089	-0,286	0,179
8	-13,708	-0,32	-0,157
9	37,964	-0,225	-0,382

1	2	3	4
10	73,756	-0,041	-0,423
11	80,801	0,161	-0,262
12	57,362	0,304	0,042
13	9,6	0,328	0,37
14	-46,098	0,213	0,583
15	-69,257	0,04	0,623
16	-72,284	-0,141	0,482

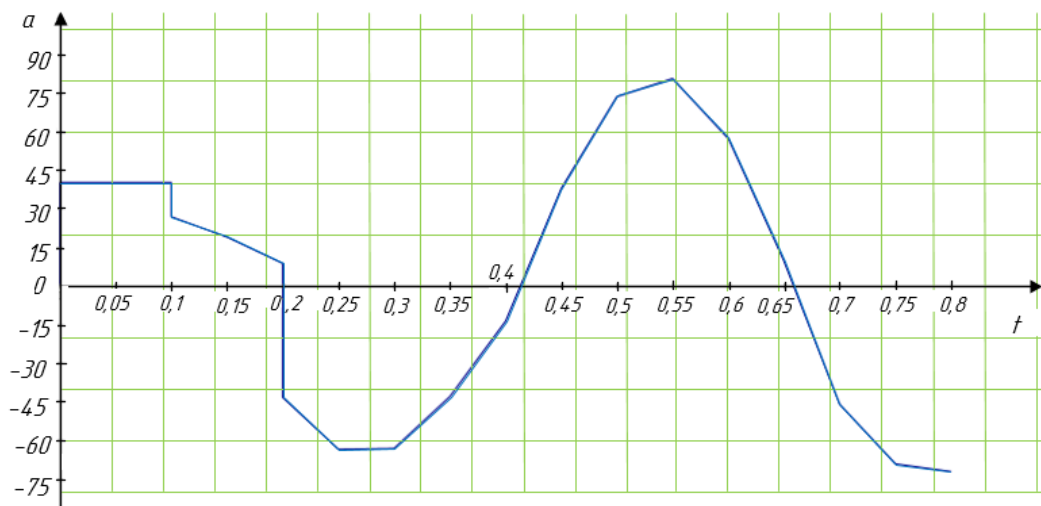


Рисунок 32 – Зависимость ускорения от времени при КЗ на линии б для второго варианта группы коэффициентов

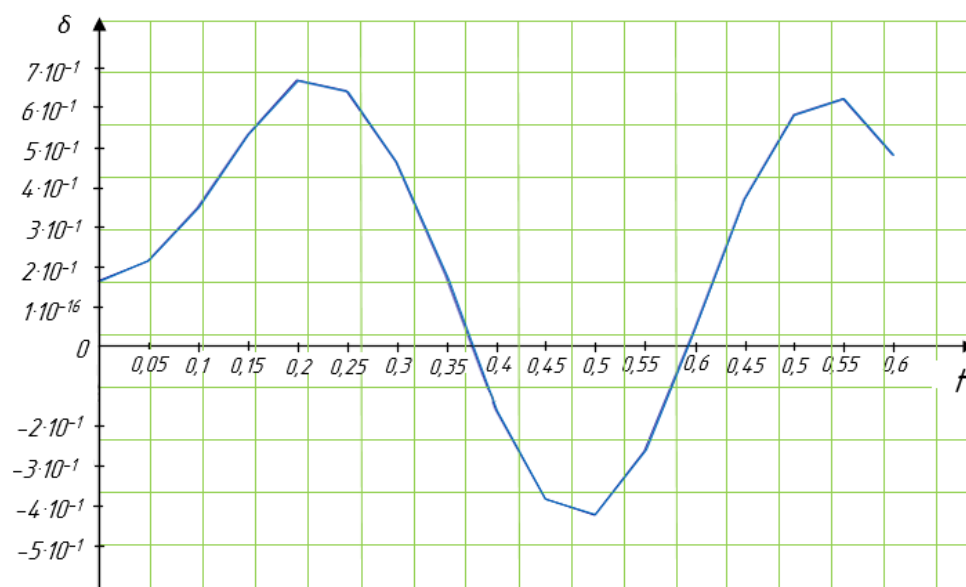


Рисунок 33 – Зависимость угла от времени при КЗ на линии б для второго варианта группы коэффициентов

Таблица 12 – Результаты расчётов ИРТ по третьему варианту

1	2	3	4
Интервал	a , рад/с ²	$\Delta\delta$, рад	δ , рад
1	40,352	0,05	0,215
2-1	40,352	0,134	0,349
2-2	27,051	0,134	0,349
3	15,401	0,173	0,522
4-1	0,388	0,11	0,632
4-2	-50,987	0,11	0,632
5	-72,489	-0,074	0,558
6	-69,813	-0,249	0,309
7	-38,591	-0,345	-0,036
8	15,637	-0,306	-0,342
9	70,798	-0,129	-0,471
10	95,626	0,11	-0,361
11	83,432	0,319	-0,042
12	35,997	0,409	0,367

1	2	3	4
13	-27	0,341	0,708
14	-73,654	0,157	0,865
15	-88,747	-0,065	0,8
16	-79,092	-0,263	0,537



Рисунок 34 – Зависимость ускорения от времени при КЗ на линии б для третьего варианта группы коэффициентов

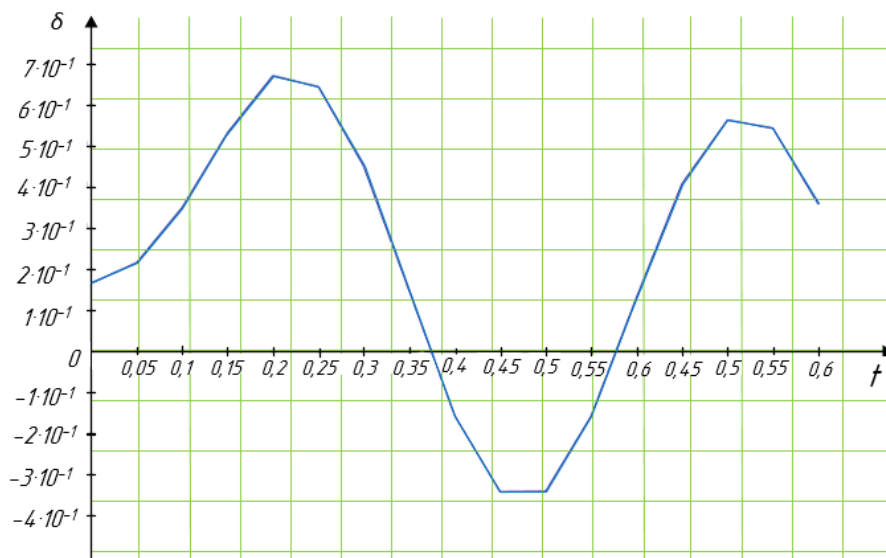


Рисунок 35 – Зависимость угла от времени при КЗ на линии б для третьего варианта группы коэффициентов

После расчёта и сравнения экспериментальных характеристик изменения мощности всех трёх различных групп коэффициентов для глубины разгрузки турбогенератора принимаем первую группу коэффициентов, так как при её использовании затухание импульсов происходит быстрее.

6 РАСЧЁТ ТОКОВ КЗ В СХЕМЕ

Короткое замыкание - это аварийный режим работы электрической сети, когда происходит непреднамеренное замыкание электрической цепи между фазами или на землю. В результате снижается сопротивление цепи, что приводит к увеличению токов в ветвях системы и снижению напряжения в узлах, особенно вблизи места короткого замыкания.

Для обеспечения надежной работы электрических установок в режиме короткого замыкания необходимо правильно выбирать и проверять электрические аппараты, такие как выключатели, разъединители, ошиновки, трансформаторы тока и напряжения. Расчет проводится с целью определения максимального тока, который может протекать в цепи при КЗ, что позволяет определить параметры устройств, соответствующие условиям термической и электродинамической стойкости.

Расчет токов короткого замыкания также необходим для выбора уставок срабатывания реле защиты и автоматики. Реле защиты и автоматика предназначены для автоматического отключения электрических аппаратов в случае аварийных ситуаций, таких как короткое замыкание, для предотвращения дальнейшего развития аварии и обеспечения безопасности оборудования и персонала.

Расчет токов короткого замыкания проводится на основе данных о параметрах электрических аппаратов и схеме соединения устройств в системе. Для этого используются специальные программы и методы расчета, которые позволяют определить максимальный ток короткого замыкания в каждой точке системы.

6.1 Расчёт токов короткого замыкания в сети 110 кВ

Поскольку КЗ представляет собой сложный режим, сопровождающийся переходным процессом, в целях упрощения практических расчетов принимаем ряд допущений, которые, незначительно сказываются на точности результатов расчетов. К основным допущениям относятся [17]:

- в электрической системе отсутствуют качания, т. е. не учитывают угол сдвига между электродвижущими силами (ЭДС) параллельно работающих генераторов;
- отсутствует насыщение магнитных систем генераторов, трансформаторов, двигателей;
- практически не учитывают емкостную проводимость ЛЭП, за исключением линий напряжением выше 330 кВ значительной протяженности (≥ 150 км);
- не учитывают токи намагничивания трансформаторов и автотрансформаторов;
- не учитывают активные сопротивления генераторов, трансформаторов, реакторов из-за их незначительной величины по сравнению с индуктивными сопротивлениями;
- не учитывают незначительную несимметрию трехфазных электрических систем (неравенство сопротивлений фаз);
- не учитывают активное сопротивление ЛЭП, если $R_{л} < 1/3 X_{л}$;
- как правило, не учитывают влияние нагрузки в процессе КЗ.

Исключение составляют отдельные расчеты, в которых учет нагрузки ведется для начального момента КЗ, так как в этот момент электродвигатели являются дополнительными источниками и подпитывают точку КЗ. Это происходит в том случае, если узел нагрузки, в которой преобладает двигательная нагрузка, расположен вблизи места КЗ, сопровождающееся значительным снижением напряжения.

Используя уже имеющуюся у нас схему замещения показанной на рисунке 10, произведём расчёт токов КЗ на шинах Благовещенской ТЭЦ в базисных величинах [12].

Находим базисный ток:

$$I_B = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} \quad (50)$$

$$I_B = \frac{130}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,682 \text{ кА}$$

Следовательно, ток трёхфазного КЗ будет равен:

$$I_3 = \frac{E_{\text{Экв}}}{X_{\text{Н.Р.}}} \cdot I_B$$

Где $E_{\text{Экв}}$ – эквивалентное ЭДС системы, равное 1

$$I_3 = \frac{1}{0,126} \cdot 0,682 = 5,413 \text{ кА}$$

После нахождения трёхфазного тока КЗ, можем найти токи двухфазного короткого замыкания по формуле:

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_3 \tag{51}$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,413 = 4,688 \text{ кА}$$

Рассчитаем однофазное короткое замыкание, для этого необходимо составить схему замещения нулевой последовательности.

Определяем сопротивление эквивалентной линии нулевой последовательности:

$$X_{1,л} = X_{л} \cdot 3 \tag{52}$$

$$X_{1,л} = 0,07 \cdot 3 = 0,21$$

Определяем эквивалентное сопротивление до точки КЗ:

$$X_{0Экв} = X_{1Л} + X_{Г.Экв} + X_{Г} \quad (53)$$

$$X_{0Экв} = 0,21 + 0,029 + 0,09 = 0,14$$

Находим ток однофазного КЗ:

$$I_1 = \frac{3 \cdot E_{Экв}}{X_{Экв1} + X_{Экв2} + X_{Экв0}} \quad (54)$$

Где: $X_{Экв1}$, $X_{Экв2}$, - сопротивления прямой и обратной последовательности, учитывается, что значения прямой и обратной последовательностей равны

$$I_1 = \frac{3 \cdot 1}{0,126 + 0,126 + 0,14} = 5,219 \text{ кА}$$

Автоматический ввод резерва (АВР) – это устройство, которое используется для обеспечения непрерывного электроснабжения в случае отключения основного источника питания. Оно состоит из трех основных компонентов: силовой части, блока управления и блока логики. В силовой части устройства находятся автоматические выключатели, контакторы и другие элементы, которые направляют питание из резервного источника к потребителям. Блок управления включает в себя переключатели и реле, которые управляют работой генератора. Блок логики отслеживает показатели напряжения основной сети, отслеживает работу генератора и выдает команды для включения и отключения резервного питания.

АВР необходимо для обеспечения непрерывного электроснабжения в критически важных объектах, таких как больницы, где отключение электричества может привести к потере жизни пациентов, а также для обеспечения стабильной деятельности крупных и малых предприятий, культурных и образовательных учреждений. Он также защищает электрические установки и бытовые приборы от сбоев в электроснабжении. [27]

Для правильной работы АВР необходимо соблюдать определенные требования. Устройство должно работать надежно и безопасно, переключаться на резервный источник питания только один раз и не более чем за 0,8 секунды после отключения основного источника. АВР также отвечает за автоматический запуск генератора и защиту выходных линий от перегрузок и КЗ.

Для АВР требуется одновременное соблюдение следующих условий: на питаемом от резерва участке должно отсутствовать КЗ или быть полностью устранено, вводной выключатель установлен в положение «Включено», а на участке, с которого планируется взять питание, присутствует нормальный уровень напряжения.

В противном случае система может показывать высокий процент ложных срабатываний, что недопустимо. Использование АВР крайне актуально на объектах, для которых длительное нахождение в обесточенном виде является критичным. [26]

Автоматическое регулирование коэффициента трансформации (АРКТ).

Осуществляется для поддержания необходимого значения напряжения на клеммах потребителей электроэнергии. Изменение коэффициента трансформации осуществляется переключением отводов обмоток с помощью переключающего устройства. Плавное изменение коэффициента трансформации путём подмагничивания магнитопровода иногда используют для трансформаторов небольшой мощности предназначенных для питания специальных нагрузок.

Современные мощные трансформаторы оборудованы устройствами переключения отводов их обмоток под нагрузкой и должны иметь автоматические регуляторы коэффициента трансформации.

Во время переключения на одну ступень вторичное напряжение трансформатора изменяется на ступень регулирования $\pm\Delta U = 1,25-2,5 \%$.

Основными особенностями автоматического регулирования коэффициента трансформации являются:

- дискретность действия регулятора;
- нечувствительность к изменениям напряжения меньшим ступеней регулирования и к деформации формы кривой напряжения гармониками;
- действие с относительно большой выдержкой времени для недопущения переключения при кратковременных изменениях напряжения во время пусков электродвигателей, удалённых коротких замыканиях и других случаях;
- необходимость во встречном (согласованном) регулировании напряжения на шинах подстанции для поддержания напряжения у потребителей на неизменном уровне в случае увеличения нагрузки.

Перечисленные особенности обуславливают соответствующие требования к измерительной части автоматических регуляторов коэффициента трансформации:

- реагирование на среднее значение напряжения;
- релейность действия с зоной нечувствительности измерительного органа напряжения;
- высокий коэффициент возврата релейных элементов;
- необходимость наличия в измерительном органе сигнала по току нагрузки.

Сложность процесса переключения выводов обмоток, необходимость в обеспечении согласованного действия двух трёхфазных устройств, в случае переключения отводов двух трансформаторов, которые работают параллельно, и высокая вероятность появления неисправности сложных электромеханических устройств обуславливают ещё две особенности:

- однократность и импульсность процесса регулирования;
- необходимость контроля завершения процесса переключения;
- необходимость контроля исправности автоматической системы регулирования в целом.

Регулятор получает сигналы от измерительных трансформаторов напряжения и тока через промежуточные трансформаторы напряжения и тока. Устройство токовой компенсации осуществляет имитацию падения напряжения в распределительной сети от трансформатора, где установлен регулятор, до точки в которой необходимо поддерживать напряжение.

В случае отклонения напряжения два выходных реле регулятора подают в привод переключателя отводов сигналы “Выше” или “Ниже” с выдержкой времени. В случае аварийного снижения напряжения (на 20-30 %) сигнал “Выше” блокируется.

Наиболее слабым звеном в системе регулирования коэффициента трансформации является механизм переключения отводов регулировочных обмоток трансформаторов. По данным СИГРЕ, повреждаемость механических переключателей отводов составляет от 20 до 50 % общего количества повреждений трансформаторов. В связи с появлением мощных полупроводниковых приборов разработаны бесконтактные переключающие устройства.

УРОВ (устройство резервирования отказа выключателя) предназначено для ликвидации повреждения которое сопровождается отказом одного или нескольких выключателей. УРОВ применяется в электрических сетях напряжением 110, 220, 330 кВ и выше, т.к. из-за особенностей конструктивного выполнения выключателей, имеющих отдельный привод для каждой фазы, и величины токов КЗ.

В энергосистеме эксплуатируются следующие типы схем УРОВ:

- централизованный УРОВ для выключателей 110-220 кВ, являющийся общим для всех выключателей одного напряжения на подстанции;
- индивидуальный УРОВ для двух выключателей линии 330 кВ;
- индивидуальный УРОВ для каждого выключателя 330-750 кВ.

Для сетей 110 кВ время действия УРОВ имеет небольшую выдержкой 0,3-0,35 сек на отключение ближайших к отказавшему выключателей присоединений, обеспечивая ликвидацию аварии с минимальными потерями для системы.

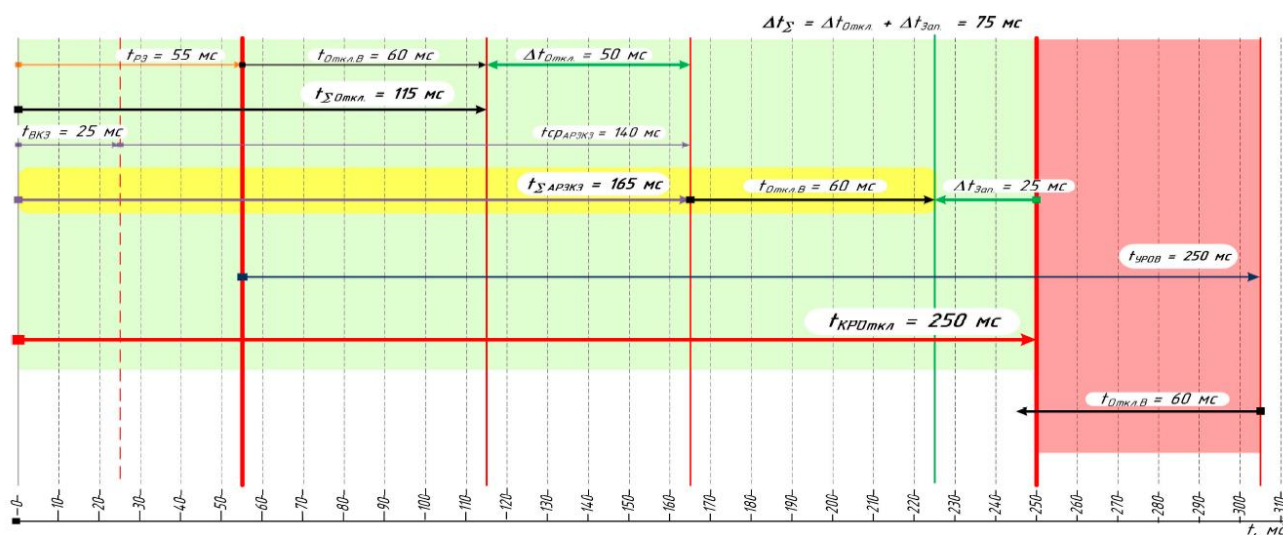


Рисунок 36 – Временная диаграмма срабатывания УРОВ

В общем случае УРОВ действует в следующих направлениях:

При КЗ на одном из отходящих от данной СШ присоединений и отказе его выключателя – на отключение СШ через выходные промежуточные реле избирательных органов дифференциальной токовой защиты данной СШ.

При КЗ на шинах и отказе в отключении ШСВ на отключение второй неповрежденной СШ.

При КЗ на шинах и отказе выключателя трансформатора (АТ) или блока со стороны рассматриваемых шин – на отключение этого трансформатора (АТ) или блока его выключателями с низкой стороны, со стороны питания.

При КЗ на шинах и отказе выключателя питающей линии, оборудованной ВЧЗ – на останов высокочастотного передатчика данной линии с целью ускорения отключения повреждения с противоположной стороны.

Для схем электрических соединений, в которых на одно присоединение приходится более одного выключателя, УРОВ действует на отключение неповрежденного элемента (СШ, линии, АТ), для которого отказавший выключатель является смежным с поврежденным элементом.

Для этих схем при работе защит АТ и отказе выключателя, общего с ВЛ-110 кВ, схема УРОВ действует на 3 фазное отключение линии с обеих сторон с запретом ТАПВ.

Отключение и запрет ТАПВ на противоположной стороне линии осуществляется по каналу телемеханики или ВОЛС. Там же отключение 3 фаз линии без запрета ТАПВ производится от ДФЗ после останова в т.ч. передатчика на стороне линии с отказавшим выключателем.

При КЗ на ВЛ и отказе выключателя, общего с блоками, схема УРОВ действует на отключение блока и на запрет ТАПВ линии. Запрет ТАПВ необходим для исключения подачи напряжения на останавливающийся блок при успешном ТАПВ линии. Запрет ТАПВ противоположной стороны линии производится по каналу телемеханики или ВОЛС. При выводе из работы канала связи, опробование такой линии с помощью ТАПВ КОНЛ должно производиться со стороны электростанций.

Запуск УРОВ осуществляется от всех защит поврежденного элемента, выключатель которого отказал в действии. В схеме УРОВ предусматриваются специальные меры для предотвращения неправильного действия устройства на погашение СШ при ошибках обслуживающего персонала.

Таковыми мерами являются:

Установка общего на СШ дополнительного пускового органа напряжения, контролирующего наличие КЗ. Этот орган состоит из трех элементов: устройства фильтр-реле напряжения отрицательной последовательности для действия при несимметричных КЗ; реле напряжения, включенного на междуфазное напряжение, для действия при симметричных КЗ, и реле напряжения, включенного на напряжение нулевой последовательности, для действия при КЗ на землю.

Автоматическая проверка исправности выключателя. Схема УРОВ выполняется таким образом, чтобы при пуске УРОВ какого-либо присоединения схема УРОВ без выдержки времени действует на отключение выключателя этого присоединения и, в случае его отказа в отключении, УРОВ с выдержкой времени отключает выключатели присоединений, ближайšie по электрической цепи к отказавшему.

Следовательно, в случае ошибочного замыкания персоналом пусковой цепи какого-либо присоединения УРОВ отключит выключатель только этого присоединения и, так как ток через “отказавший” выключатель прекратится, схема УРОВ возвратится в исходное состояние.

Использование в цепи УРОВ фактора, подтверждающего действие защиты, исключает необходимость автоматической проверки исправности выключателя, что снижает количество ложных отключений присоединений, например, при проверках отдельных защит на работающих линиях, когда ошибочно не отключена накладкой цепь пуска УРОВ от проверяемой защиты.

В схеме УРОВ выполняется контроль исправности цепей. Схема контроля исправности цепей выводит УРОВ из действия через время 0,8 – 1,2 сек после появления каких-либо неисправностей и подает сигнал о неисправности; снятие

сигнала и обратный ввод УРОВ, а в работу осуществляется нажатием кнопки на панели УРОВ.

После действия УРОВ-110, УРОВ-220 кВ запрет АПВ отключившихся от УРОВ присоединений производится только при действии на отказавший выключатель защит трансформаторов.

УРОВ на Благовещенской ТЭЦ реализовано в комплексе МКПА ЭКРА ШЭЭ-22Х.

9 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

Представленная выпускная квалификационная работа нацелена на проектировку противоаварийной автоматики на Благовещенской ТЭЦ в г. Благовещенске, с дальнейшей реализацией проекта. В данной главе будут рассмотрены аспекты охраны труда при проектировании устройств РЗА и работе с электрооборудованием, экологическая обстановка на БТЭЦ, а также виды чрезвычайных ситуаций и необходимые действия при их возникновении.

На БТЭЦ действуют строгие требования по обеспечению безопасности и экологичности. Руководство следит за соблюдением всех действующих нормативных актов, и обеспечивает: обучение рабочих; безопасность при работе с оборудованием; нормальные условия работы; средства индивидуальной защиты для работников.

9.1 Безопасность

Перед началом работы, каждый новый сотрудник обязан пройти первичный инструктаж, курсы теории для четкого понимания должностных обязанностей и правил их выполнения, инструктаж на рабочем месте, стажировка с последующим дублированием, после этого будет проведена проверка знаний сотрудника специально утвержденной комиссией предприятия перед допуском к самостоятельной работе.

Таблица 13 – Анализ вредных производственных факторов на БТЭЦ

1	2	3	4	5
Фактор	Источник	Коллективные средства защиты	Индивидуальные средства защиты	Нормативный акт
Высокие температуры	Деаэратор, котлы (водогрейный, паровой)	Теплоизоляция, системы кондиционирования	Спец. одежда, каска	ГОСТ 28679-90

1	2	3	4	5
Шумы (постоянный, широкополосный)	технологические механизмы и установки	Звукоизоляция помещений для персонала, корпусов оборудования	Противошумные наушники, вкладыши, шлема	ГОСТ 12.1.003-2014
Вибрация	Технологические механизмы и установки	Виброизоляторы (активные, пассивные)	Виброзащитные рукавицы, рукоятки, ботинки	СанПиН 1.2.3685-21
Вращающиеся механизмы	Двигатели насосов и урановых установок, приводы механизмов	Оградительные устройства	Переносные ограждения, спец. одежда, каска	СНиП 12.03-01
Оборудование работающее под давлением	Емкости хим. цеха, трубопровод, котлы (водогрейный, паровой)	Оградительные устройства	Каски, спец одежда	СНиП 12.03-01
Электрический ток (0,4-110 кВ)	Электрооборудование	Заземление, зануление, оградительные устройства	Диэлектрические перчатки, боты, коврики, спец. инструмент, переносное заземление	ГОСТ 12.1.019-17 ГОСТ 12.1.030-81

Все сотрудники должны пользоваться всеми действующими на предприятии нормами, правилами, инструкциями и материалами по охране труда и ТБ при работе с электрооборудованием. Также, для эксплуатационного персонала периодически проводятся аттестации, нацеленный на отработку безошибочных, а самое главное правильных действий при авариях на предприятии. Основные инструкции для ТЭЦ описаны в следующих пунктах:

1) Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей. Регулируются РД 34.03.201-97 утвержденных Министерством топлива и энергетики РФ 03.04.1997. Изложенные требования по безопасности при эксплуатации, ремонте, наладке и испытании теплосилового, механического, водоподготовительного оборудования, систем водоснабжения, устройств тепловой автоматики и измерений топливно-транспортных, котельных, турбинных и химических цехов действующих и реконструируемых ЭС, тепловых сетей, тепловых пунктов и отопительных котельных. [1]

2) Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Регулируются Приказом Минэнерго России от 04,10,2022 №1070. Правила устанавливают требования к эксплуатации объектов электрогенерации, электросетевого хозяйства, функционирующих в составе ЕЭС России, в том числе и технологически изолированных ЭЭС, в части обеспечения надежности функционирования указанных ЭЭС, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и возможности их использования по функциональному назначению в составе указанных ЭЭС. [2]

3) Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Данный свод правил утверждён приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 №536. ФНП в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением».

ФНП устанавливают требования, обязательные к исполнению при разработке и осуществлении тех. процессов, при проектировании, строительстве, эксплуатации, реконструкции, капремонте, тех. перевооружении, консервации и ликвидации ОПО, на которых используется оборудование под избыточным давлением, при проведении экспертизы безопасности, зданий и сооружений на ОПО, а также при установке, монтаже и эксплуатации. [3]

4) Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов горячей воды и пара. Управляются с помощью СП 124.13330.2012. Тепловые сети. Редакция СНиП 41-02-2003. Данный свод правил распространяется на тепловые сети и все сопутствующие конструкции, от наружных стен источника теплоты до выходной запорной арматуры ЦТП и органов индивидуальных тепловых пунктов зданий и сооружений, транспортирующие горячую воду с температурой до 200 °С и давлением до 2,5 МПа, водяной пар с температурой до 440 °С и давлением до 6,3 МПа, конденсат водяного пара. [4]

5) Правила безопасности при работе в устройствах РЗА ПС прописаны в СТО ОАО «ФСК ЕЭС» 56947007-33.040.20.181-2014

5.1. Работы по техническому обслуживанию устройств РЗА и вспомогательных цепей в действующих ЭУ производятся по нарядам или распоряжениям.

Работы повышенной опасности, выполняемые на выделенном участке вне действующих электроустановок, также должны выполняться по наряду.

5.2. Каждый работник, принимающий непосредственное участие в работах, обязан пройти медицинское освидетельствование и проверку знаний ПТБ, получить вводный инструктаж и целевой инструктаж на рабочем месте по технике безопасности, освоить методику проведения соответствующих работ с учетом требований правил техники безопасности, при необходимости пройти стажировку под руководством опытного работника.

5.3. При работах необходимо пользоваться специальным электротехническим инструментом с изолированными ручками.

5.4. При выполнении работ по ТО устройств РЗА следует обратить особое внимание на:

а) Временные схемы, собираемые для наладки оборудования (снятие характеристик, осциллографирование и т.п.), должны выполняться на специальных столах. Запрещается применять столы с металлической рабочей поверхностью или с металлическим обрамлением. Изоляция соединительных проводников не должна быть нарушенной.

б) Временные питающие линии должны быть выполнены изолированным проводом (кабелем) и надежно закреплены, а в местах прохода людей должны быть подняты на высоту не менее 2,5 м.

в) Питание временных схем для проверок и испытаний должно выполняться через автоматический выключатель с обозначением ВКЛ. И ОТКЛ. положений. Последовательно с выключателем в цепь питания устанавливается коммутационное устройство с видимым разрывом цепи. При снятии напряжения со схемы сначала отключается выключатель, а после него штепсельный разъем [13].

г) Сборку временных схем для испытаний, переключение проводов в схеме, перестановку приборов и аппаратов в ней запрещается при наличии напряжения и отсутствия видимого разрыва питающей сети.

д) При перерывах и окончании работ по ТО персонал, производивший работы, должен отключить линию временного питания с созданием видимого разрыва.

е) Металлические корпуса приборов и аппаратов должны быть заземлены и занулены.

ж) При использовании в работе комплектных испытательных устройств должны быть предусмотрены меры, предотвращающие доступ к выводам, находящимся под напряжением. При подключении испытательного устройства к цепям, которые могут быть заземлены, необходимо убедиться в отсутствии гальванической связи между входными и выходными зажимами устройства. При наличии такой связи следует временно отключать заземления.

з) Рабочее место должно быть удобным и достаточно освещенным соответствии с требованиями СНиП 23-05-95. «Естественное и искусственное освещение».

и) При производстве работ следует строго следить, чтобы руки не прикасались одновременно к элементам или точкам схемы, находящимся под напряжением 36 В и более, и заземленным предметам, и аппаратам

к) При наличии в схемах РЗА конденсаторов в случае необходимости работы в этих цепях конденсаторы должны быть разряжены.

л) Измерения следует производить сухими руками в одежде с опущенными рукавами, кольца и металлические браслеты должны быть сняты.

м) Работы в цепях и устройствах РЗА должны производиться по исполнительным схемам. Работа без схем, по памяти, запрещается.

5.5. Дистанционное включение и отключение первичных коммутационных аппаратов для опробования может производить работник, проводящий техническое обслуживание, с разрешения дежурного персонала (а в электроустановках без местного оперативного персонала – без получения разрешения).

Перед подачей оперативного напряжения для наладки и опробования схем коммутационных аппаратов, управление которыми производится из нескольких мест, должна быть устранена возможность управления ими с других мест (отключены цепи, вывешены плакаты «Не включать. Работают люди» или «Не открывать. Работают люди»).

При работах в цепях вторичных обмоток ТН с подачей напряжения от постороннего источника отключаются автоматические выключатели и рубильники, установленные в цепях вторичных обмоток ТН, во избежание обратной трансформации на сторону ВН.

5.6. При работах в цепях вторичных обмоток ТТ и ТН следует:

а) Все вторичные обмотки измерительных ТТ и ТН должны иметь постоянное заземление.

б) Запрещается снимать заземление вторичных обмоток ТТ и ТН, если они находятся под рабочим напряжением. Запрещается снимать заземление металлических корпусов устройств РЗА, находящихся в работе.

в) При необходимости переключений в цепях вторичных обмоток ТТ при протекании тока через его первичную обмотку, вторичная обмотка должна быть предварительно закорочена на специальных выводах или на контрольных штекерах ИБ. Переключения должны производиться с диэлектрического коврика. Откручивание винтов, крепящих провода, следует производить медленно, одной рукой, не касаясь другой рукой ни вторичной коммутации, ни корпуса панели, при появлении малейшего искрения, треска винт следует немедленно закрутить

обратно и еще раз тщательно проверить подготовительную схему. При раскорачивании токовых цепей измерительных ТТ должны быть немедленно прекращены все работы в устройствах РЗА и в аварийном порядке отключены коммутационные аппараты в цепях первичных обмоток этих ТТ.

г) При проверке полярности обмоток ТТ импульсами постоянного тока измерительный прибор должен быть предварительно надежно присоединен к выводам вторичной обмотки, только после этого в первичную обмотку можно подавать импульс тока.

д) Вторичные токовые цепи измерений и защиты должны подсоединяться к выводам вторичных обмоток ТТ только после полного окончания монтажа всех цепей.

5.7. При выполнении работ в цепях статора вращающегося невозбужденного генератора (измерение значения остаточного напряжения, чередования фаз и т.п.) принять меры по блокированию включения АГП, предварительно проверить отсутствие большого значения напряжения на вторичной обмотке измерительного ТН. Работы следует производить в диэлектрических перчатках или диэлектрических галошах.

5.8. Настройка, проверка и измерение фильтров присоединения высокочастотной части дифференциально-фазных защит, устройств ВЧТО, АНКА, отборов напряжения разрешается на действующем высокочастотном канале.

При этом нижняя обкладка конденсатора связи (КС) должна быть заземлена по нормальной схеме через линейную катушку фильтра присоединения или заземляющий дроссель с разрядником, включенным между нижней обкладкой КС и землей.

Подключать и отключать приборы в цепи между КС и фильтром присоединения и в шкафу отбора напряжения разрешается только при наглухо заземленной с помощью заземляющего ножа обкладки КС. [9]

9.2 Экологичность

В составе электростанций находится огромное разнообразие электрооборудования, значительной части оборудования необходимо наличие масла, будь то смазка соприкасающихся деталей или же в качестве охлаждения. В данном пункте будет рассмотрен вопрос экологии при эксплуатации силового трансформатора марки ТДЦ-125000/110 У1.

Таблица 14 – Масса и габариты трансформатора на ОРУ 110 кВ, т

Масса, т		Габариты, м	
Наименование	Значение	Наименование	Значение
Полная масса	115	Длина (А _Т)	6,558
Масса масла (М _{ТМ})	22	Ширина (Б _Т)	4,582
Транспортная масса	103	Высота (Н _Т)	7,056

Согласно ПУЭ-7 раздел 4 «Распределительные устройства и подстанции», глава 2 «Распределительные устройства и подстанции напряжением выше 1 кВ» предотвращение растекания масла и пожаров при повреждении маслonaполненных силовых трансформаторов и/или реакторов с массой масла свыше 1 тонны, достигается путём установки маслоприёмников, маслоотводоов и масло-сборников в соответствии с:

1) Габариты маслоприёмника должны превышать габариты трансформатора и/или реактора не менее чем на 0,6 м при массе масла до 2 т; от 1 м при 2-10 т; от 1,5 м при 10-50 т; от 2 м при массе более 50 т. Если со стороны Firewall'a находящегося от трансформатора и/или реактора менее 2 м, то габарит маслоприёмника допускается выполнять меньшим на 0,5 м.

2) Объём маслоприёмника с отводом должен быть равен объёму масла, залитого в трансформатор и/или реактор и 80% воды от средств пожаротушения при интенсивности 0,2 л/с*м² за время 30 минут.

3) Конструкция маслоприёмника и маслоотвода должна быть герметичной и не допускать перетёк между соседними маслоприемниками, подземным сооружениям, а также засорение маслоотвода, его закупорку снегом, льдом и т.п.

4) При объёме масла в трансформаторе и/или реакторе мене 20 т. разрешается установка маслоприёмников без маслоотводов. При такой конструкции маслоприёмники необходимо заглублять и закрывать металлической решеткой, а сверху должна быть насыпь гравия или щебня толщиной от 0,25 м, а уровень масла в маслоприёмнике должен быть ниже решетки не менее чем на 50 мм

5) При наличии маслоотвода, маслоприёмники могут выполняться как заглублёнными, так и вровень с планировкой. Если маслоприёмник заглублён, то бортовые ограждения не требуется (при выполнении п.2)

6) При установке маслonaполненного электрооборудования на Ж/Б перекрытии, маслоотвод обязателен.

7) Маслоотвод должен обеспечить вывод масла и воды от средств пожаротушения на безопасное расстояние от оборудования и сооружений.

8) Маслосборники должны снабжаться средствами сигнализации о наличии воды с выводом на щит управления. Маслосборник изнутри, а также его ограждения и ограждение маслоприемника должны иметь маслостойкое покрытие.

Произведём расчёт маслосборника с отводом масла силового трансформатора ТДЦ-125000/110 У1 для соблюдения вышеперечисленных правил. [6]

Определим габариты маслоприёмника:

Длина:

$$A_{МП} = A_T + 2 \cdot \Delta \quad (55)$$

Ширина:

$$B_{МП} = B_T + 2 \cdot \Delta \quad (56)$$

где: Δ - отступы от габаритов силового трансформатора в соответствии с ПУЭ-7. При массе масла 22 т $\Delta=1,5$ м

Длина:

$$A_{МП} = 6,558 + 2 \cdot 1,5 = 9,558 \text{ м}$$

Ширина:

$$B_{МП} = 4,528 + 2 \cdot 1,5 = 7,528 \text{ м}$$

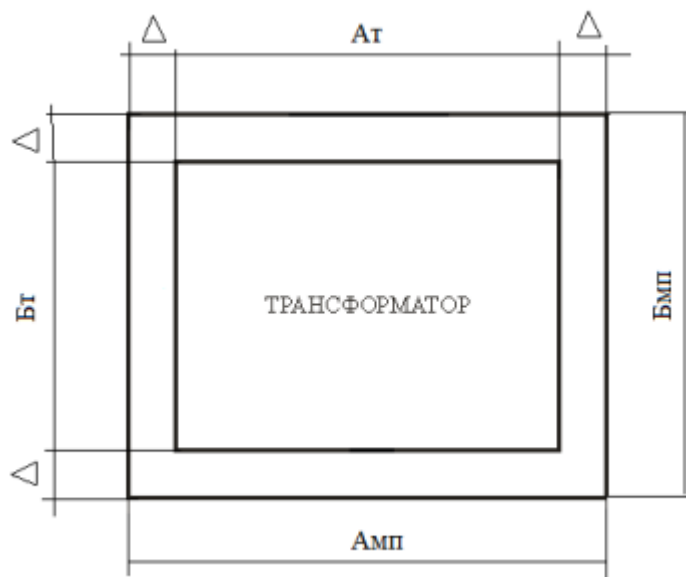


Рисунок 37 – Схема габаритов маслоприёмника трансформаторного масла

Имея габариты маслоприёмника определяем его площадь по формуле:

$$S_{МП} = A_{МП} \cdot B_{МП} \quad (57)$$

$$S_{МП} = 9,558 \cdot 7,528 = 71,953 \text{ м}^2$$

Следующим шагом определим объём трансформаторного масла:

$$V_{ТМ} = \frac{M_{ТМ}}{\rho_{ТМ}} \quad (58)$$

где: $\rho_{ТМ}$ – плотность трансформаторного масла, кг/м^3 , на ЭС для всех видов масляного оборудования применяется масло «Лукойл ВГ» с плотностью при 20 градусах по Цельсию составляет $837,1 \text{ кг/м}^3$;

$$V_{ТМ} = \frac{22000}{837,1} = 26,281 \text{ м}^3$$

Теперь мы можем вычислить глубину маслоприёмника с маслоотводом:

$$h_{МП} = \frac{V_{ТМ}}{S_{МП}} + h_g + h_r \quad (59)$$

где: h_g – воздушный зазор между нулевой отметкой ОРУ и гравием на решетке, м (из ПУЭ-7 $h_g=0,075$ м)

h_r – толщина слоя гравия, м (из ПУЭ-7 $h_r=0,25$ м)

$$h_{МП} = \frac{26,281}{71,953} + 0,075 + 0,25 = 0,69 \text{ м}$$

Основываясь на ПУЭ-7, объём маслоприёмника должен соответствовать:

$$V_{МС} \geq V_{ТМ} + V_{ВОДА} \quad (60)$$

Вычислим объём воды от средств пожаротушения:

$$V_{\text{ВОДА}} = 0,8 \cdot l \cdot t \cdot (S_{\text{МП}} + S_{\text{БПТ}}) \quad (61)$$

где: l – интенсивность пожаротушения, из ПУЭ-7 $l=0,2$ л/(с*м²)

t – время тушения пожара, из ПУЭ-7 $t=1800$ с

$S_{\text{БПТ}}$ – площадь боковой поверхности трансформатора, м²

Рассчитаем боковую поверхность трансформатора:

$$S_{\text{БПТ}} = 2 \cdot H_T \cdot (A_T + B_T) \quad (62)$$

$$S_{\text{БПТ}} = 2 \cdot 7,056 \cdot (9,558 + 7,528) = 241,118 \text{ м}^2$$

$$V_{\text{ВОДА}} = 0,8 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1800 \cdot (77,953 + 241,118) = 91,892 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{МС}} = 26,281 + 91,892 = 118,173 \text{ м}^3.$$

9.3 Чрезвычайные ситуации

На данный момент времени в составе ЕЭС России находится 911 электростанций, номинальная установленная мощность каждой из которых составляет более 5 МВт, из них 66,14% ТЭС на которые пришлось 60,73% всей сгенерированной электроэнергии за 2022 год.

Электроэнергетика это одна из основных систем, способствующих развитию государства, поэтому обеспечение безопасности и недопущение чрезвычайных ситуаций является особо актуальной задачей в России.

Можно выделить три основные причины возникновения ЧС на ЭС:

- 1) Стихийные и погодные условия
- 2) Человеческий фактор

3) Износ оборудования

Составляющие ТЭЦ с предельной концентрацией опасных веществ:

1) Мазутохранилище (мазутное хозяйство)

2) Маслохозяйство

3) Цех химоводоочистки

Для предотвращения ЧС на электроэнергетических объектах необходимо предпринимать особые меры:

- усиленный контроль технического состояния средств диспетчеризации и организация эксплуатации

- повышение уровня организации производства плановых и капитальных ремонтов, также усиление контроля по соблюдению инструктажа по охране труда

- Проведение разъяснительных работ с персоналом о порядке действия персонала при нарушениях нормального режима ЭЭС

- Контроль за соблюдением периодичности проверки знаний персоналом требований нормативно правовых актов по охране труда при эксплуатации энергоустановок, правил переключений в ЭУ, ПТЭЭП

- Повышение качества проведения расследования произошедших аварий, установление причин и предпосылок этих аварий, а также круга лиц, действе или бездействе которых привели к возникновению или развитию аварий.

Основываясь на анализах Ростехнадзора, аварии произошедшие в ходе эксплуатации энергоустановок приводили или могли привести к пожару. На различных ТЭС России, в период с 2004 по 2017 произошло 27 аварий сопровождающиеся взрывопожароопасной обстановкой. Исходя из этого, необходима грамотная проектировка систем взрывопожаробезопасности, предусматривающая автоматические и ручные средства обнаружения возгорания (пожарные извещатели) устанавливающиеся как на территории, так и в помещениях объекта, возможность подачи сигналов системам автоматического пожаротуше-

ния и наличие пожарных щитов. Также, необходимо предусмотреть оперативное отображение состояния системы на щите управления ЭС и отключение оборудования станции.

Таблица 15 - Категории по пожаробезопасности и минимальной степени огнестойкости зданий и сооружений ТЭЦ

Наименование здания / сооружения	Категория пожаробезопасности	Минимальная степень огнестойкости
ЗРУ	В	II
Насосные	В	II
Складские помещения	В	III
Главный корпус	Г	II
Котельные	Г	II
Дымоотвод и вентиляция	Г	II
Помещения ГЩУ	Д	III
Градирни	Д	V

Анализ причин аварий на электроустановках, проведённый Ростехнадзором за 2021 год показал, что за год произошло 29 аварий, но расследовались только 26 из них. Места аварий: в электроустановках потребителей – 2, на ТЭС – 2, на объектах электросетевого хозяйства – 2.

Правила пожарной безопасности прописаны в ФЗ №123 "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 № 123-ФЗ определяет основные положения технического регулирования в области пожарной безопасности и устанавливает минимально необходимые требования пожарной безопасности к объектам защиты (продукции), в том числе к зданиям и сооружениям, производственным объектам, пожарно-технической продукции и продукции общего назначения. [5]

9.3.1 Требования пожарной безопасности в ЗРУ

– Помещения закрытых распределительных устройств (ЗРУ) должны содержаться в чистоте. Не реже одного раза в год должна проводиться уборка коридоров от пыли. Электротехническое оборудование ЗРУ необходимо чистить по утвержденному графику с обязательным выполнением организационных и технических мероприятий по действующим правилам техники безопасности.

– Запрещается в помещениях и коридорах ЗРУ устраивать кладовые и другие подсобные сооружения, не относящиеся к распределительному устройству, а также хранить электротехническое оборудование, материалы, запасные части, емкости с горючими жидкостями и баллоны с различными газами.

– Для очистки электротехнического оборудования от грязи и отложений должны использоваться пожаробезопасные моющие составы и препараты. В исключительных случаях при невозможности по техническим причинам использовать специальные моющие средства допускается применение горючих жидкостей (растворителей, бензина и др.) в количествах, не превышающих при разовом пользовании одного литра.

– Сварочные и другие огнеопасные работы в ЗРУ допускается проводить только на оборудовании, которое невозможно вынести после выполнения необходимых противопожарных мероприятий.

– Кабельные каналы ЗРУ и наземные кабельные лотки открытых распределительных устройств (ОРУ) должны быть постоянно закрыты несгораемыми плитами. Места подвода кабелей к ячейкам ЗРУ и к другим сооружениям должны иметь несгораемое уплотнение с огнестойкостью не менее 0,75 часа.

– В кабельных лотках и каналах допускается применять пояса из песка или другого негорючего материала длиной не менее 0,3 метра.

– На территории ОРУ следует периодически скашивать и удалять траву. Запрещается выжигать сухую траву на территории объекта и прилегающих к ограждению площадках.

– Допускается на отдельных участках территории ОРУ иметь декоративный кустарник или низкорослые деревья лиственных пород, в том числе фруктовые,

если они не мешают общему обзору территории, а расстояния между деревьями и токоведущими частями исключают возможность электрического перекрытия в соответствии с требованиями ПУЭ. За насаждениями должен быть организован агротехнический уход.

– На подстанциях с постоянным персоналом, а также на электростанциях первичные средства пожаротушения в помещении ЗРУ должны размещаться у входов. При делении ЗРУ на секции посты пожаротушения должны располагаться в тамбурах или на площадках у лестничных клеток. В РУ должны быть определены места хранения защитных средств для пожарных подразделений при ликвидации пожара и их необходимое количество. Применение этих средств для других целей не допускается.

– На территории ОРУ первичные средства должны размещаться на специальных постах в удобном для персонала месте (в помещениях щитов, в тамбурах камер и т.п.). Поясняющие знаки и надписи, указывающие местоположение средств пожаротушения, должны иметься на тропях обхода территории ОРУ.

– В местах установки на ОРУ передвижной пожарной техники (в соответствии с оперативным планом пожаротушения) должны быть обозначены и оборудованы места заземления.

– Компрессорные помещения должны содержаться в чистоте. Обтирочный материал должен храниться в специальных металлических закрывающихся ящиках вместимостью не более 0,5 кубических метра. Допускается непосредственно в помещении хранить суточный запас смазочного масла в закрытой небьющейся таре (металлической, пластиковой и т.п.).

– Проездные дороги по территории подстанций и к водоисточникам должны содержаться в исправном состоянии, а в зимнее время регулярно очищаться от снега.

9.3.2 ТБ при тушении пожара

– Пожары на оборудовании, находящемся под напряжением до 0,4 кВ, допускается тушить распыленными струями воды, подаваемой из ручных пожарных стволов с расстояния не менее 5 метров. Тушение компактными струями воды не допускается.

– При тушении пожара воздушно-механической пеной с объемным заполнением помещения (тоннеля) необходимо осуществить заземление пеногенераторов и насосов пожарных автомобилей. Водитель пожарного автомобиля должен работать в диэлектрических перчатках и ботах (сапогах).

– При тушении пожара огнетушителями необходимо соблюдать безопасные расстояния, указанные в таблице. Допускается использование других видов огнетушителей, имеющих сертификаты и соответствующих техническим условиям заводов-изготовителей. Тушение пенными огнетушителями не допускается.

– Работать со средствами пожаротушения в диэлектрических перчатках и ботах (сапогах), а при задымлении - в средствах индивидуальной защиты органов дыхания; находиться на безопасном расстоянии до электроустановок; заземлить пожарный ствол и насос пожарного автомобиля.

При тушении пожара ЭУ распыленными струями воды личный состав подразделений ГПС МВД России, ведомственной пожарной охраны и персонал энергопредприятий обязан выполнять следующие требования:

– работать со средствами пожаротушения в диэлектрических перчатках и ботах (сапогах);

– находиться на расстоянии до электроустановок, определяемом требованиями правил по охране труда при эксплуатации электроустановок, утверждаемых Минтрудом России в соответствии с подпунктом 5.2.28 Положения о Министерстве труда и социальной защиты Российской Федерации, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 19 июня 2012 г. N 610 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2012, N 26, ст. 3528);

– заземлить пожарный ствол и насос пожарного автомобиля.

9.3.3. Действия персонала при возникновении пожара

– При возникновении пожара на объекте первый заметивший очаг пожара должен немедленно сообщить начальнику смены энергообъекта или руководству энергопредприятия, а при наличии связи - в пожарную охрану и приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения.

– Начальник смены энергообъекта обязан немедленно сообщить о пожаре в пожарную охрану, руководству энергопредприятия (по специальному списку) и диспетчеру энергосистемы.

– До прибытия подразделений ГПС МВД России руководителем тушения пожара (РТП) является начальник смены энергообъекта (руководитель энергопредприятия), который обязан организовать:

1) удаление с места пожара всех посторонних лиц;

2) установление места возникновения пожара, возможные пути его распространения и образования новых очагов горения (тления);

3) проверку включения системы автоматического пожаротушения, а в случае отказа - ее ручное включение;

4) выполнение подготовительных работ с целью обеспечения эффективного тушения пожара;

5) тушение пожара персоналом и средствами пожаротушения энергетического предприятия;

6) встречу подразделений ГПС МВД России лицом, хорошо знающим безопасные маршруты движения, расположение водоисточников, места заземления пожарной техники.

7) Отключение оборудования в зоне пожара производится дежурным персоналом энергопредприятия по распоряжению начальника смены энергообъекта.

– После прибытия на место пожара первого подразделения ГПС МВД России руководителем тушения пожара является старший начальник этого подразделения. Начальник смены энергообъекта (руководитель энергопредприятия)

при передаче ему руководства тушением пожара должен информировать о принятых мерах и организовать дальнейшие действия персонала согласно указаниям РТП.

– Решение о подаче огнетушащих средств принимается руководителем тушения пожара после проведения инструктажа и выполнения необходимых мер безопасности. Руководитель тушения пожара (РТП) имеет право приступить к тушению энергооборудования под напряжением только после получения письменного допуска на тушение от начальника смены энергообъекта, инструктажа личного состава пожарных подразделений представителями энергетического предприятия и создания условий визуального контроля за электроустановками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной целью данной выпускной квалификационной работы было обеспечение сохранения устойчивости блоков генераторов при аварийном режиме работы БТЭЦ с применением импульсной разгрузки турбогенераторов.

В итоге определено что статическая и динамическая устойчивость турбогенераторов Благовещенской ТЭЦ при трёхфазном КЗ в конце линий рассматриваемой сети сохраняет с достаточным запасом мощности. Определенный нами вариант ИТР имеет лучшие характеристики дозированных воздействий, чем ныне используемы на БТЭЦ, поэтому представленные в ВКР данные, могут иметь практическую значимость для руководства электротехнической лаборатории Благовещенской ТЭЦ.

Задачи, выполненные для достижения поставленной цели:

- оценка устойчивости ТГ, показала, что при трёхфазных КЗ величина запаса мощности более 20% что соответствует требованиям, указанных в «Методические указания по устойчивости энергосистем»;
- по результатам расчётов был выбран первый вариант ИРТ для сохранения устойчивости. При таком исполнении затухание импульсов происходит быстрее, тем самым, стабилизация работы ТГ в послеаварийный период произойдёт за меньший промежуток времени;
- в разделе БЖД были описаны основные методы по обеспечению защиты работников от вредных производственных факторов и произведёт расчёт маслоприемника с маслоотводом для силового трансформатора марки ТДЦ-125000/110 У1;

Библиографический список

1. РД 34.03.201-97 Правила техники безопасности при эксплуатации тепло-механического оборудования электростанций и тепловых сетей. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.
2. Приказ Минэнерго России от 04.10.2022 №1070 Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации и о внесении изменений в приказы Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. №757, от 12 июля 2018 г. №548
3. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 № 536 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением»
4. Свод правил СП 124.13330.2012 Тепловые сети Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003 – М.: Изд-во официальное, 2012
5. Федеральный закон №123-ФЗ от 22.07.2008 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». – М.: Изд-во официальное, 2022
6. Булгаков А.Б. Охрана окружающей среды в энергетике: Учебное пособие. / А.Б. Булгаков. - Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2020 – 9 с.
7. Глинский, Е. В. Противоаварийная и режимная автоматика : конспект лекций для студентов энергетических специальностей / Е. В. Глинский, Е. В. Булойчик, А. Г. Сапожникова ; под общ. ред. Ф. А. Романюка. – Минск : БНТУ, 2013. – 134 с.
8. Методические указания по устойчивости энергосистем. Утв. Приказом Минэнерго России от 30.06.2003 №277.
9. СТО 56947007-33.040.20.181-2014 №301 Типовая инструкция по организации и производству работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики подстанций. – М.: Изд-во ОАО «ФСК ЕЭС»

10. Герасимов В.Г. Электротехнический справочник Т.3//В. Г. Герасимов, П. Г. Грудинский В. А. Лабунцов и др. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 880 с.
11. Электромеханические переходные процессы в электрических системах: учебно-методическое пособие к курсовому проектированию / сост. А.Н. Козлов, В.А. Козлов. – 3-е изд., испр. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2017. – 136 с.
12. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. - М.: , 2012. – 151 с.
13. МЭК 255-22-1-88 “Испытания на воздействие электрических полей для измерительных реле и аппаратуры защиты. Часть 1. Испытания на воздействие импульсных помех при частоте 1 МГц”
14. Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ)/ Минэнерго России. М.: Изд-во ООО «Моркнига», 2023. 584 с.
15. ООО «Росэлектромаш»: официальный сайт. – Новосибирск. – URL: <https://roselectromash.com/catalogs/turbogenerator> (дата обращения 05.06.2023)
16. Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные и методические материалы для выполнения квалификационных работ [Электронный ресурс]: учебно-справочное пособие для вузов / И.П. Крючков, М.В. Пираторов, В.А. Старшинов; под ред. И.П. Крюčkова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2019. 138 с.
17. Расчет токов короткого замыкания: учебно-методическое пособие / составители: Э. Ф. Хакимянов, Ю. В. Писковацкий. – Казань: КГЭУ, 2022. – 67 с.
18. Федеральный закон Российской Федерации "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 № N 35-ФЗ // Официальный интернет-портал правовой информации. - 1 мая 2022 г. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 10.06.23)
19. Постановление правительства РФ от 27 декабря 2004 г. № 854 «Об утверждении правил оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике»

20. Технологии расчета электрических режимов. Формирование расчетных моделей, расчет и анализ перспективных, текущих и аварийных электроэнергетических режимов: конференция по ознакомлению субъектов электроэнергетики с технологической деятельностью АО «СО ЕЭС», г. Москва, 19 июля 2018 г.

21. Электромеханические переходные процессы в электрических системах : сборник задач / Д. В. Армеев, Е. П. Гусев, А. П. Долгов [и др.] ; под редакцией В. М. Чебан. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2010. — 127с. — ISBN 978-5-7782-1388-3. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/45200.html> (дата обращения: 15.03.2023).

22. Лизалек, Н. Н. Динамические свойства энергосистем при электромеханических колебаниях. Структурная организация движений и устойчивость : учебное пособие / Н. Н. Лизалек, В. Ф. Тонышев. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 212 с. — ISBN 978-5-7782-2296-0. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/45086.html> (дата обращения: 15.03.2023).

23. Воропай, Николай Иванович. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. И. Воропай. - Благовещенск : Изд- во Амур. гос. ун- та, 2013. - 151 с. Режим доступа : http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7102.pdf

24. Собственные нужды тепловых, атомных и гидравлических станций и подстанций. [Электронный ресурс] : учеб. пособие для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / АмГУ, Эн.ф.; сост.: А. Н. Козлов, В. А. Козлов, А. Г. Ротачева. - 3- е изд., испр. - Благовещенск: Изд- во Амур. гос. Ун- та, 2017. - 315 с. Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9690.pdf

25. Графическая часть курсовых проектов и выпускных квалификационных работ [Электронный ресурс] : учеб. - метод. пособие. Ч. 2 / АмГУ, Эн.ф.; сост.:

А. Н. Козлов, В. А. Козлов. - Благовещенск: Изд- во Амур. гос. ун- та, 2017. - 168 с Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7735.pdf

26. Автоматика энергосистем [Электронный ресурс] : метод. указания к лаб. Работам для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / АмГУ, Эн.ф.; сост. А. Н. Козлов. - 2-е изд., испр. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. – 76 с Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7750.pdf

27. Релейная защита и автоматика электрических систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника" / сост. А. Н. Козлов, В. А. Козлов, Ю. В. Мясоедов; АмГУ, Эн.ф. – 4- е изд., испр. – Благовещенск: Издво Амур. гос. ун-та, 2017. – 160

28. Микропроцессорные средства управления [Электронный ресурс] : учеб. пособие для направления подготовки "Электроэнергетика и электротехника". Ч. 1 : Построение основных функций цифровых релейных защит / АмГУ, Эн.ф.; сост. А. Н. Козлов. - Благовещенск: Издво Амур. гос. ун- та, 2017. - 54 с Режим доступа: [http:// irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7739.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7739.pdf)

29. Малафеев, А. В. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики : учебное пособие / А. В. Малафеев. — Магнитогорск : МГТУ им. Г.И. Носова, 2020. — 65 с. — ISBN 978-5-9967-1884-9. — Текст : электронный // Лань : электронно- библиотечная система. — URL: [https:// e.lanbook.com/ book/162556](https://e.lanbook.com/book/162556) (дата обращения: 13.03.2023).

30. Основы электротехники, микроэлектроники и управления : учебное пособие для академического бакалавриата / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент, Г. И. Бабокин. — 2- е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 607 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-12190-2. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/530320> (дата обращения: 13.03.2023).

Приложение А

<i>Турбогенераторы</i>			<i>Линия</i>	<i>Трансформаторы</i>
$S_{Г1.ном} := 63$	$S_{Г2.ном} := 100$	$S_{Г3.ном} := 130$	$X_{л1} := 2.2$	$S_{Т1.ном} := 80$
$n_{Г1} := 1$	$n_{Г2} := 2$	$n_{Г3} := 1$	$X_{л2} := X_{л1}$	$U_{КТ1} := 10.8$
$X_{Г1d} := 1.915$	$X_{Г2d} := 1.907$	$X_{Г3d} := 2.5$	$X_{л3} := 6.4$	$n_{Т1} := 1$
$X'_{Г1d} := 0.275$	$X'_{Г2d} := 0.278$	$X'_{Г3d} := 0.26$	$X_{л4} := 6.8$	$S_{Т2.ном} := 125$
$X_{Г12} := 0.248$	$X_{Г22} := 0.234$	$X_{Г32} := 0.22$	$X_{л5} := 8$	$U_{КТ2} := 10.5$
$T_{Г1J} := 8$	$T_{Г2J} := 8$	$T_{Г3J} := 8$	$X_{л6} := 8.4$	$n_{Т2} := 2$
$T_{Г1do} := 6.23$	$T_{Г2do} := 6.5$	$T_{Г3do} := 14.4$	<i>Система</i>	$S_{Т3.ном} := 160$
$T_{Г1a} := 0.39$	$T_{Г2a} := 0.4$	$T_{Г3a} := 0.6$	$P_n := 404$	$U_{КТ3} := 11.05$
			$\cos\varphi := 0.8$	$n_{Т3} := 1$
			$s_{\theta} := 0.02$	$S_{Т4.ном} := 125$
			$T_{J,e} := 9$	$U_{КТ4} := 11$
			$U_c := 220$	$n_{Т4} := 2$

Определение параметров схемы.

$$S_{\theta} := 130 \quad U_{\theta} := 110$$

$$x_{Т1} := \frac{U_{КТ1}}{100} \cdot \frac{S_{\theta}}{S_{Т1.ном}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{10.8}{100} \cdot \frac{130}{80} = 0.176$$

$$x_{Т2} := \frac{U_{КТ2}}{100} \cdot \frac{S_{\theta}}{S_{Т2.ном}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{10.5}{100} \cdot \frac{130}{125} = 0.109$$

$$x_{Т3} := \frac{U_{КТ3}}{100} \cdot \frac{S_{\theta}}{S_{Т3.ном}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{11.05}{100} \cdot \frac{130}{160} = 0.09$$

$$x_{Т4} := \frac{U_{КТ4}}{100} \cdot \frac{S_{\theta}}{S_{Т4.ном}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{11}{100} \cdot \frac{130}{125} = 0.114$$

Продолжение приложения А

$$x_{Л1} := X_{x1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} 2.2 \cdot \frac{130}{110^2} = 0.024 \quad x_{Л2} := x_{Л1}$$

$$x_{Л3} := X_{x3} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} 6.4 \cdot \frac{130}{110^2} = 0.069$$

$$x_{Л4} := X_{x4} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} 6.8 \cdot \frac{130}{110^2} = 0.073$$

$$x_{Л5} := X_{x5} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} 8 \cdot \frac{130}{110^2} = 0.086$$

$$x_{Л6} := X_{x6} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} 8.4 \cdot \frac{130}{110^2} = 0.09$$

$$x_{Г1} := X_{Г1d} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{Г1.ном}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} 1.915 \cdot \frac{130}{63} = 3.952$$

$$x_{Г2} := X_{Г2d} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{Г2.ном}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} 1.907 \cdot \frac{130}{100} = 2.479$$

$$x'_{Г1} := X'_{Г1d} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{Г1.ном}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} 0.275 \cdot \frac{130}{63} = 0.567$$

$$x'_{Г2} := X'_{Г2d} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{Г2.ном}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} 0.278 \cdot \frac{130}{100} = 0.361$$

$$P_H := \frac{P_n}{S_{\delta}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{404}{130} = 3.108$$

$$U_C := \frac{U_c}{U_{\delta}} \cdot \left(\frac{110}{220} \right) \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{220}{110} \cdot \frac{110}{220} = 1$$

Продолжение приложения А

$$Q_H := P_H \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos\varphi^2}}{\cos\varphi} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 3.108 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0.8^2}}{0.8} = 2.331$$

Расчет исходного установившегося режима.

$$X_{\Gamma 12 \text{экс.}} := \frac{x_{\Gamma 1} \cdot \left(\frac{x_{\Gamma 2}}{2}\right)}{x_{\Gamma 1} + \left(\frac{x_{\Gamma 2}}{2}\right)} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{3.952 \cdot \frac{2.479}{2}}{3.952 + \frac{2.479}{2}} = 0.944$$

$$X_{\Gamma \text{экс.} 1} := \frac{X_{\Gamma 12 \text{экс.}} \cdot X_{\Gamma 3d}}{X_{\Gamma 12 \text{экс.}} + X_{\Gamma 3d}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{0.944 \cdot 2.5}{0.944 + 2.5} = 0.685$$

$$X'_{\Gamma 12 \text{экс.}} := \frac{x'_{\Gamma 1} \cdot \left(\frac{x'_{\Gamma 2}}{2}\right)}{x'_{\Gamma 1} + \left(\frac{x'_{\Gamma 2}}{2}\right)} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{0.567 \cdot \frac{0.361}{2}}{0.567 + \frac{0.361}{2}} = 0.137$$

$$X'_{\Gamma \text{экс.} 1} := \frac{X'_{\Gamma 12 \text{экс.}} \cdot X'_{\Gamma 3d}}{X'_{\Gamma 12 \text{экс.}} + X'_{\Gamma 3d}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{0.137 \cdot 0.26}{0.137 + 0.26} = 0.09$$

$$X_{T 12 \text{экс.}} := \frac{x_{T 1} \cdot \left(\frac{x_{T 2}}{2}\right)}{x_{T 1} + \left(\frac{x_{T 2}}{2}\right)} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{0.176 \cdot \frac{0.109}{2}}{0.176 + \frac{0.109}{2}} = 0.042$$

$$X_{T \text{экс.} 1} := \frac{X_{T 12 \text{экс.}} \cdot x_{T 3}}{X_{T 12 \text{экс.}} + x_{T 3}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{0.042 \cdot 0.09}{0.042 + 0.09} = 0.029$$

$$X_{T \text{экс.} 2} := \frac{x_{T 4}}{n_{T 4}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{0.114}{2} = 0.057$$

Продолжение приложения А

$$x_{экс12} := \frac{x_{Л1} \cdot x_{Л2}}{x_{Л1} + x_{Л2}} = 0.012$$

$$x_{экс123} := \frac{x_{экс12} \cdot x_{Л3}}{x_{экс12} + x_{Л3}} = 0.01$$

$$x_{экс1234} := \frac{x_{экс123} \cdot x_{Л4}}{x_{экс123} + x_{Л4}} = 0.009$$

$$x_{экс12345} := \frac{x_{экс1234} \cdot x_{Л5}}{x_{экс1234} + x_{Л5}} = 0.008$$

$$x_{экс123456} := \frac{x_{экс12345} \cdot x_{Л6}}{x_{экс12345} + x_{Л6}} = 0.007$$

$$X_{внеш.} := X_{Гэкс.1} + x_{экс123456} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.029 + 0.007 = 0.036$$

Турбогенератор с без АРВ

$$E_q := \sqrt{\left(U_C + \frac{Q_H \cdot (X_{Гэкс.1} + X_{внеш.})}{U_C} \right)^2 + \left(\frac{P_H \cdot (X_{Гэкс.1} + X_{внеш.})}{U_C} \right)^2}$$

$$E_q \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \sqrt{\left(1 + \frac{2.331 \cdot (0.685 + 0.036)}{1} \right)^2 + \left(\frac{3.108 \cdot (0.685 + 0.036)}{1} \right)^2} = 3.494$$

$$\delta_0 := \text{atan} \left(\frac{P_H \cdot (X_{Гэкс.1} + X_{внеш.})}{U_C^2 + Q_H \cdot (X_{Гэкс.1} + X_{внеш.})} \right) \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \text{atan} \left(\frac{3.108 \cdot (0.685 + 0.036)}{1^2 + 2.331 \cdot (0.685 + 0.036)} \right) = 0.696$$

$$\frac{\delta_0}{\text{deg}} = 39.878$$

Турбогенератор с АРВ ПД

$$E' := \sqrt{\left(U_C + \frac{Q_H \cdot (X_{Гэкс.1} + X_{внеш.})}{U_C} \right)^2 + \left(\frac{P_H \cdot (X_{Гэкс.1} + X_{внеш.})}{U_C} \right)^2}$$

$$E' \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \sqrt{\left(1 + \frac{2.331 \cdot (0.09 + 0.036)}{1} \right)^2 + \left(\frac{3.108 \cdot (0.685 + 0.036)}{1} \right)^2} = 2.588$$

Продолжение приложения А

$$\delta'_0 := \operatorname{atan} \left(\frac{P_H \cdot (X'_{ГЭКв.1} + X_{внеш.})}{U_C^2 + Q_H \cdot (X'_{ГЭКв.1} + X_{внеш.})} \right) \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \operatorname{atan} \left(\frac{3.108 \cdot (0.09 + 0.036)}{1^2 + 2.331 \cdot (0.09 + 0.036)} \right) = 0.294$$

$$E'_q := E' \cdot \cos(\delta_0 - \delta'_0) \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} 2.588 \cdot \cos(0.696 - 0.294) = 2.382$$

$$\frac{\delta'_0}{deg} = 16.845$$

Расчет статической устойчивости

$$P_0 := P_H = 3.108$$

$$x_{d\Sigma} := X_{ГЭКв.1} + X_{внеш.} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} 0.685 + 0.036 = 0.721$$

$$x'_{d\Sigma} := X'_{ГЭКв.1} + X_{внеш.} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} 0.09 + 0.036 = 0.126$$

Турбогенератор с АРВ ПД

Приближенный предел мощности:

$$P_{mE'q} := \frac{E'_q \cdot U_C}{x'_{d\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \frac{2.382}{0.126} = 18.905$$

$$k_{сан.см.2} := \frac{P_{mE'q} - P_0}{P_{mE'q}} \cdot 100 \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \frac{18.905 - 3.108}{18.905} \cdot 100 = 83.56$$

Идеальный предел мощности:

$$\delta l := 1.355$$

$$\frac{E'_q \cdot U_C}{x'_{d\Sigma}} \cdot \cos(\delta l) - \frac{U_C^2}{2} \cdot \frac{(X_{ГЭКв.1} - X'_{ГЭКв.1})}{x_{d\Sigma} \cdot x'_{d\Sigma}} \cdot 2 \cos(2 \cdot \delta l) = 9.997$$

$$\delta l_u := 1.571$$

$$P_{mE'q,u} := \frac{E'_q \cdot U_C}{x'_{d\Sigma}} \cdot \sin(\delta l_u) - \frac{U_C}{2} \cdot \frac{(X_{ГЭКв.1} - X'_{ГЭКв.1})}{x_{d\Sigma} \cdot x'_{d\Sigma}} \cdot \sin(2 \cdot \delta l_u)$$

Продолжение приложения А

$$P_{mE'q.u} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{2.382}{0.126} \cdot \sin(1.571) - \frac{1}{2} \cdot \frac{0.685 - 0.09}{0.721 \cdot 0.126} \cdot \sin(2 \cdot 1.571) = 18.906$$

$$k_{зан.см.2.u} := \frac{P_{mE'q.u} - P_0}{P_{mE'q.u}} \cdot 100 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{18.906 - 3.108}{18.906} \cdot 100 = 83.561$$

Погрешность:

$$\Delta k_{зан.см.2} := \frac{k_{зан.см.2.u} - k_{зан.см.2}}{k_{зан.см.2.u}} \cdot 100 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{83.561 - 83.56}{83.561} \cdot 100 = 0.001$$

$$P_{mE'q}(\delta) := \frac{E'_q \cdot U_C}{x'_{d\Sigma}} \cdot \sin(\delta) - \frac{U_C^2}{2} \cdot \frac{X_{Гэкс.1} - X'_{Гэкс.1}}{x_{d\Sigma} \cdot x'_{d\Sigma}} \cdot \sin(2 \cdot \delta)$$

РАСЧЁТ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ КЗ НА
ЛИНИИ 6

$$x_{экс12} := \frac{x_{Л1} \cdot x_{Л2}}{x_{Л1} + x_{Л2}} = 0.012$$

$$x_{экс123} := \frac{x_{экс12} \cdot x_{Л3}}{x_{экс12} + x_{Л3}} = 0.01$$

$$x_{экс1234} := \frac{x_{экс123} \cdot x_{Л4}}{x_{экс123} + x_{Л4}} = 0.009$$

$$x_{экс.Л1} := \frac{x_{экс1234} \cdot x_{Л5}}{x_{экс1234} + x_{Л5}} = 0.008$$

Сопротивление электропередачи в исходном режиме:

$$X_{Н.Р.} := X'_{Гэкс.1} + X_{внеш.} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.09 + 0.036 = 0.126$$

Первый аварийный режим Q1 и Q2 ВКЛ:

$$X_1 := X'_{Гэкс.1} + X_{Гэкс.1} + x_{экс.Л1} + x_{Л6} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.09 + 0.029 + 0.008 + 0.09 = 0.217$$

Продолжение приложения А

$$X_2 := X_{T_{\text{эке.2}}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.057 = 0.057 \quad X_{III} := 0$$

$$X_{ас1} := \frac{X_1 \cdot X_2}{X_{III}} + X_1 + X_2 \quad X_{ас1} := \infty$$

Второй аварийный режим:

$$X_3 := X'_{Г_{\text{эке.1}}} + X_{T_{\text{эке.1}}} + x_{\text{эке.Л1}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.09 + 0.029 + 0.008 = 0.127$$

$$X_4 := X_{T_{\text{эке.2}}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.057 = 0.057$$

$$X_5 := x_{Л6} + X_{III} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.09 + 0 = 0.09$$

$$X_{ас2} := X_3 + X_4 + \frac{X_3 \cdot X_4}{X_5} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.127 + 0.057 + \frac{0.127 \cdot 0.057}{0.09} = 0.264$$

Послеаварийный режим:

$$X_{n.ас} := X'_{Г_{\text{эке.1}}} + X_{T_{\text{эке.1}}} + x_{\text{эке.Л1}} + X_{T_{\text{эке.2}}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.09 + 0.029 + 0.008 + 0.057 = 0.184$$

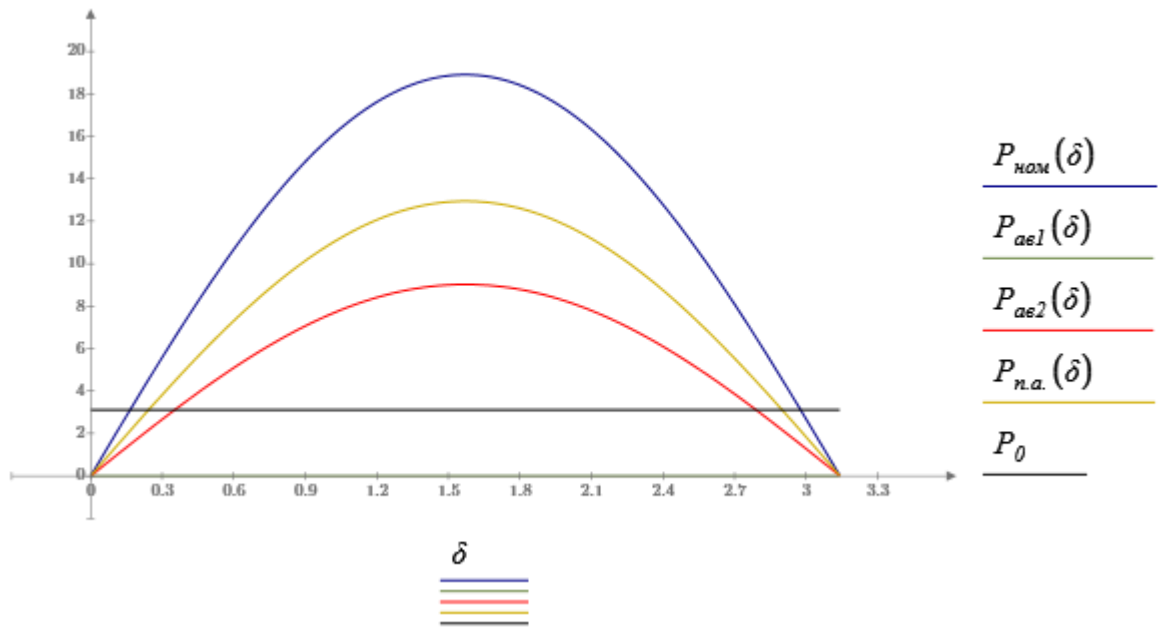
$$P_{ном}(\delta) := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{H.P.}} \cdot \sin(\delta)$$

$$P_{ас1}(\delta) := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{ас1}} \cdot \sin(\delta)$$

$$P_{ас2}(\delta) := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{ас2}} \cdot \sin(\delta)$$

$$P_{n.а}(\delta) := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{n.ас}} \cdot \sin(\delta)$$

Продолжение приложения А



РАСЧЁТ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ПРИ КЗ НА ЛИНИИ 1

$$x_{\text{экв}23} := \frac{x_{Л2} \cdot x_{Л3}}{x_{Л2} + x_{Л3}} = 0.018$$

$$x_{\text{экв}234} := \frac{x_{\text{экв}23} \cdot x_{Л4}}{x_{\text{экв}23} + x_{Л4}} = 0.014$$

$$x_{\text{экв}2345} := \frac{x_{\text{экв}234} \cdot x_{Л5}}{x_{\text{экв}234} + x_{Л5}} = 0.012$$

$$x_{\text{экв.Л6}} := \frac{x_{\text{экв}2345} \cdot x_{Л6}}{x_{\text{экв}2345} + x_{Л6}} = 0.011$$

Сопротивление электропередачи в исходном режиме:

$$X_{Н.Р.2} := X_{Г_{\text{экв.1}}}^{\text{explicit}} + X_{\text{внеш.}}^{\text{ALL}} \rightarrow 0.09 + 0.036 = 0.126$$

Первый аварийный режим Q1 и Q2 ВКЛ:

$$X_{1.2} := X_{Г_{\text{экв.1}}}^{\text{explicit}} + X_{Г_{\text{экв.1}}}^{\text{ALL}} + x_{\text{экв.Л6}} + x_{Л1} \rightarrow 0.09 + 0.029 + 0.011 + 0.024 = 0.154$$

Продолжение приложения А

$$X_{2.2} := \frac{x_{T4}}{n_{T4}} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \frac{0.114}{2} = 0.057 \quad X_{III} := 0$$

$$X_{ae1.2} := \frac{X_{1.2} \cdot X_{2.2}}{X_{III}} + X_{1.2} + X_{2.2} \quad X_{ae1.2} := \infty$$

Второй аварийный режим:

$$X_{3.2} := X'_{Гзкс.1} + X_{Тзкс.1} + x_{зкс.Л6} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} 0.09 + 0.029 + 0.011 = 0.13$$

$$X_{4.2} := \frac{x_{T4}}{n_{T4}} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \frac{0.114}{2} = 0.057$$

$$X_{5.2} := x_{Л1} + X_{III} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} 0.024 + 0 = 0.024$$

$$X_{ae2.2} := X_{3.2} + X_{4.2} + \frac{X_{3.2} \cdot X_{4.2}}{X_{5.2}} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} 0.13 + 0.057 + \frac{0.13 \cdot 0.057}{0.024} = 0.496$$

Послеаварийный режим:

$$X_{n.ae.2} := X'_{Гзкс.1} + X_{Тзкс.1} + x_{зкс.Л6} + X_{Тзкс.2} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} 0.09 + 0.029 + 0.011 + 0.057 = 0.187$$

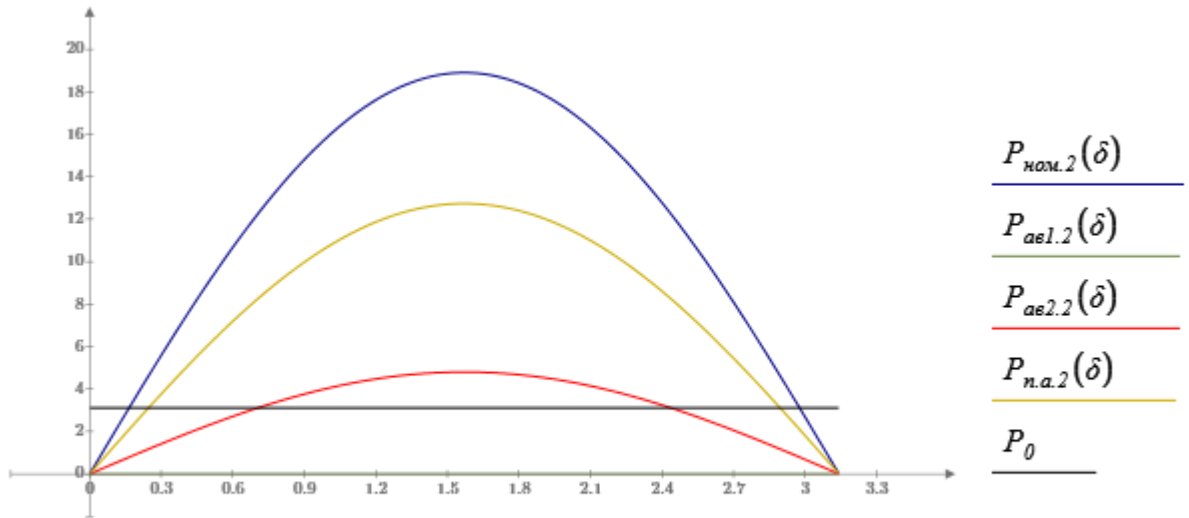
$$P_{ном.2}(\delta) := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{H.P.2}} \cdot \sin(\delta)$$

$$P_{ae1.2}(\delta) := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{ae1.2}} \cdot \sin(\delta)$$

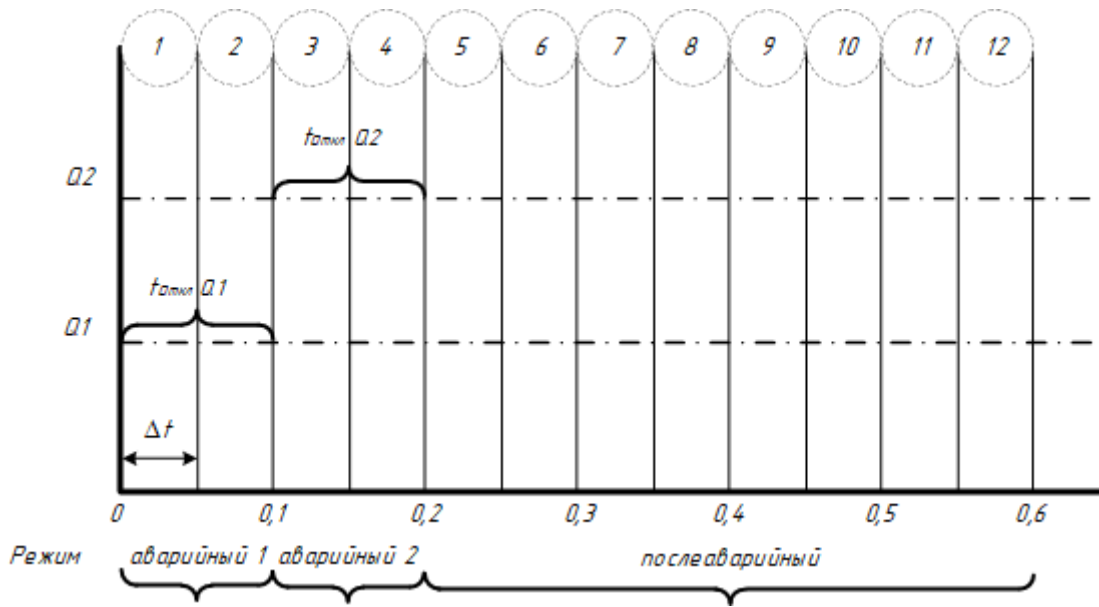
$$P_{ae2.2}(\delta) := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{ae2.2}} \cdot \sin(\delta)$$

$$P_{n.ae.2}(\delta) := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{n.ae.2}} \cdot \sin(\delta)$$

Продолжение приложения А



δ



$$P_{\text{ном}} := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{\text{Н.Р.}}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{2.382}{0.126} = 18.905$$

$$P_{\text{ас1}} := 0$$

$$P_{\text{ас2}} := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{\text{ас2}}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{2.382}{0.264} = 9.023$$

Продолжение приложения А

$$P_{n.a.} := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{n.as}} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \frac{2.382}{0.184} = 12.946$$

Исходный и критический углы для характеристики нормального режима:

$$\delta_0 := \text{asin} \left(\frac{P_0}{P_{ном}} \right) \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \text{asin} \left(\frac{3.108}{18.905} \right) = 0.165$$

$$\delta_{кр1} := \pi - \text{asin} \left(\frac{P_0}{P_{ном}} \right) \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \pi - \text{asin} \left(\frac{3.108}{18.905} \right) = 2.976$$

Критический угол для характеристики послеаварийного режима:

$$\delta_{кр2} := \pi - \text{asin} \left(\frac{P_0}{P_{n.a.}} \right) \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \pi - \text{asin} \left(\frac{3.108}{12.946} \right) = 2.899$$

Эквивалентная постоянная инерции:

$$T_{j\Sigma} := T_J \cdot \frac{S_{\Gamma1.ном} + S_{\Gamma2.ном} \cdot 2 + S_{\Gamma3.ном}}{S_6} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} 8 \cdot \frac{63 + 100 \cdot 2 + 130}{130} = 24.185$$

Расчет методом последовательных интервалов самой длинной линии:

t=0-0.05 с

$$a_0 := 0 \quad \Delta t := 0.05 \quad w_0 := 314$$

Ускорение в начале первого интервала:

$$a_1 := \frac{(P_0 - P_{ас1} \cdot \sin(\delta_0)) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \frac{(3.108 - 0 \cdot \sin(0.165)) \cdot 314}{24.185} = 40.352$$

Приращение угла δ за первый интервал:

$$\Delta\delta_1 := \frac{\Delta t^2}{2} \cdot a_1 \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \frac{0.05^2}{2} \cdot 40.352 = 0.05$$

Продолжение приложения А

Угол к концу первого интервала:

$$\delta_1 := \delta_0 + \Delta\delta_1 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.165 + 0.05 = 0.215$$

t=0.05-0.1 с (Откл Q2)

Ускорение в начале 2-го интервала:

$$a_{2.1} := \frac{(P_0 - P_{ae1} \cdot \sin(\delta_1)) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 0 \cdot \sin(0.215)) \cdot 314}{24.185} = 40.352$$

$$a_{2.2} := \frac{(P_0 - P_{ae2} \cdot \sin(\delta_1)) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 9.023 \cdot \sin(0.215)) \cdot 314}{24.185} = 15.359$$

$$a_2 := \frac{a_{2.1} + a_{2.2}}{2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{40.352 + 15.359}{2} = 27.856$$

Приращение угла δ за 2-й интервал:

$$\Delta\delta_2 := \Delta\delta_1 + a_2 \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.05 + 27.856 \cdot 0.05^2 = 0.12$$

Угол к концу 2-го интервала :

$$\delta_2 := \delta_1 + \Delta\delta_2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.215 + 0.12 = 0.335$$

t=0.1-0.15 с

$$a_3 := \frac{(P_0 - P_{ae2} \cdot \sin(\delta_2)) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 9.023 \cdot \sin(0.335)) \cdot 314}{24.185} = 1.837$$

$$\Delta\delta_3 := \Delta\delta_2 + a_3 \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.12 + 1.837 \cdot 0.05^2 = 0.125$$

$$\delta_3 := \delta_2 + \Delta\delta_3 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.335 + 0.125 = 0.46$$

Продолжение приложения А

t=0.15-0.2 с (Откл Q1)

Ускорение в начале 4-го интервала:

$$a_{4.1} := \frac{(P_0 - P_{as2} \cdot \sin(\delta_3)) \cdot w_0}{T_{j\Gamma}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{(3.108 - 9.023 \cdot \sin(0.46)) \cdot 314}{24.185} = -11.656$$

$$a_{4.2} := \frac{(P_0 - P_{na} \cdot \sin(\delta_3)) \cdot w_0}{T_{j\Gamma}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(0.46)) \cdot 314}{24.185} = -34.267$$

$$a_4 := \frac{a_{4.1} + a_{4.2}}{2} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{-11.656 + -34.267}{2} = -22.962$$

$$\Delta\delta_4 := \Delta\delta_3 + a_4 \cdot \Delta t^2 \xrightarrow{\text{explicit ALL}} 0.125 + -22.962 \cdot 0.05^2 = 0.068$$

$$\delta_4 := \delta_3 + \Delta\delta_4 \xrightarrow{\text{explicit ALL}} 0.46 + 0.068 = 0.528$$

t=0.2-0.25 с

$$a_5 := \frac{(P_0 - P_{na} \cdot \sin(\delta_4)) \cdot w_0}{T_{j\Gamma}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(0.528)) \cdot 314}{24.185} = -44.328$$

$$\Delta\delta_5 := \Delta\delta_4 + a_5 \cdot \Delta t^2 \xrightarrow{\text{explicit ALL}} 0.068 + -44.328 \cdot 0.05^2 = -0.043$$

$$\delta_5 := \delta_4 + \Delta\delta_5 \xrightarrow{\text{explicit ALL}} 0.528 + -0.043 = 0.485$$

t=0.25-0.3 с

$$a_6 := \frac{(P_0 - P_{na} \cdot \sin(\delta_5)) \cdot w_0}{T_{j\Gamma}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(0.485)) \cdot 314}{24.185} = -38.009$$

$$\Delta\delta_6 := \Delta\delta_5 + a_6 \cdot \Delta t^2 \xrightarrow{\text{explicit ALL}} -0.043 + -38.009 \cdot 0.05^2 = -0.138$$

Продолжение приложения А

$$\delta_6 := \delta_5 + \Delta\delta_6 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.485 + -0.138 = 0.347$$

$$t=0.3-0.35 \text{ c}$$

$$a_7 := \frac{(P_0 - P_{n.a.} \cdot \sin(\delta_6)) \cdot w_0}{T_{j\Gamma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(0.347)) \cdot 314}{24.185} = -16.809$$

$$\Delta\delta_7 := \Delta\delta_6 + a_7 \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.138 + -16.809 \cdot 0.05^2 = -0.18$$

$$\delta_7 := \delta_6 + \Delta\delta_7 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.347 + -0.18 = 0.167$$

$$t=0.35-0.4 \text{ c}$$

$$a_8 := \frac{(P_0 - P_{n.a.} \cdot \sin(\delta_7)) \cdot w_0}{T_{j\Gamma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(0.167)) \cdot 314}{24.185} = 12.413$$

$$\Delta\delta_8 := \Delta\delta_7 + a_8 \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.18 + 12.413 \cdot 0.05^2 = -0.149$$

$$\delta_8 := \delta_7 + \Delta\delta_8 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.167 + -0.149 = 0.018$$

$$t=0.4-0.45 \text{ c}$$

$$a_9 := \frac{(P_0 - P_{n.a.} \cdot \sin(\delta_8)) \cdot w_0}{T_{j\Gamma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(0.018)) \cdot 314}{24.185} = 37.327$$

$$\Delta\delta_9 := \Delta\delta_8 + a_9 \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.149 + 37.327 \cdot 0.05^2 = -0.056$$

$$\delta_9 := \delta_8 + \Delta\delta_9 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.018 + -0.056 = -0.038$$

Продолжение приложения А

t=0.45-0.5 с

$$a_{10} := \frac{(P_0 - P_{n.a.} \cdot \sin(\delta_9)) \cdot w_0 \xrightarrow{\text{explicit}}}{T_{j\Sigma} \xrightarrow{ALL}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(-0.038)) \cdot 314}{24.185} = 46.738$$

$$\Delta\delta_{10} := \Delta\delta_9 + a_{10} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow{\text{explicit}} \xrightarrow{ALL} -0.056 + 46.738 \cdot 0.05^2 = 0.061$$

$$\delta_{10} := \delta_9 + \Delta\delta_{10} \xrightarrow{\text{explicit}} \xrightarrow{ALL} -0.038 + 0.061 = 0.023$$

t=0.5-0.55 с

$$a_{11} := \frac{(P_0 - P_{n.a.} \cdot \sin(\delta_{10})) \cdot w_0 \xrightarrow{\text{explicit}}}{T_{j\Sigma} \xrightarrow{ALL}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(0.023)) \cdot 314}{24.185} = 36.486$$

$$\Delta\delta_{11} := \Delta\delta_{10} + a_{11} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow{\text{explicit}} \xrightarrow{ALL} 0.061 + 36.486 \cdot 0.05^2 = 0.152$$

$$\delta_{11} := \delta_{10} + \Delta\delta_{11} \xrightarrow{\text{explicit}} \xrightarrow{ALL} 0.023 + 0.152 = 0.175$$

t=0.55-0.6 с

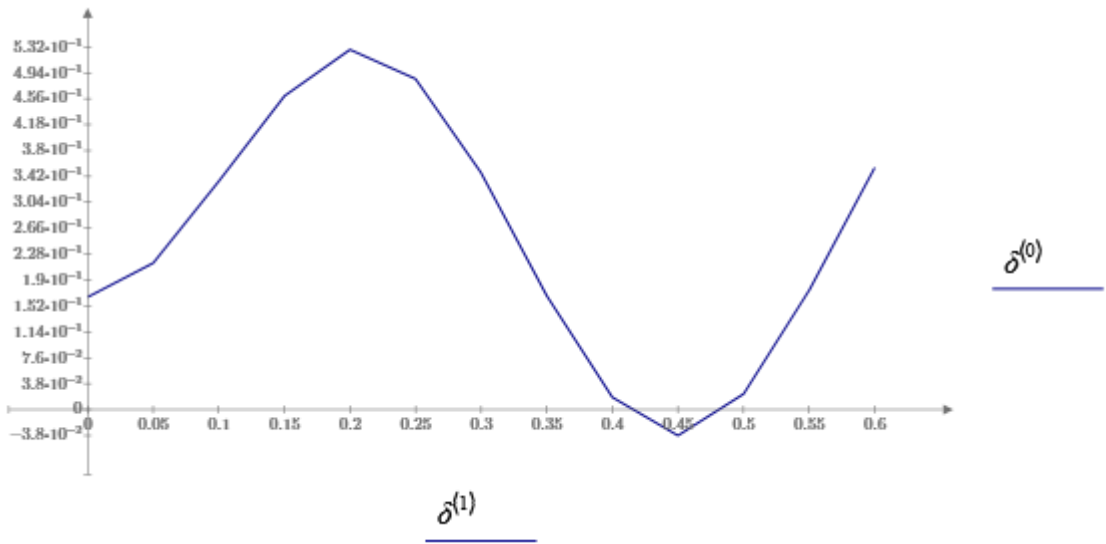
$$a_{12} := \frac{(P_0 - P_{n.a.} \cdot \sin(\delta_{11})) \cdot w_0 \xrightarrow{\text{explicit}}}{T_{j\Sigma} \xrightarrow{ALL}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(0.175)) \cdot 314}{24.185} = 11.088$$

$$\Delta\delta_{12} := \Delta\delta_{11} + a_{12} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow{\text{explicit}} \xrightarrow{ALL} 0.152 + 11.088 \cdot 0.05^2 = 0.18$$

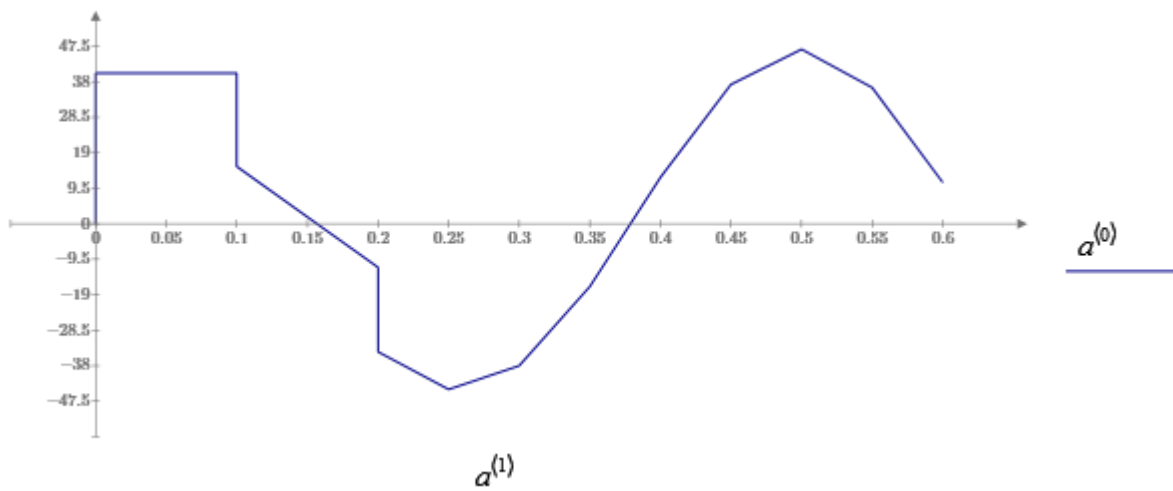
$$\delta_{12} := \delta_{11} + \Delta\delta_{12} \xrightarrow{\text{explicit}} \xrightarrow{ALL} 0.175 + 0.18 = 0.355$$

Продолжение приложения А

$$\delta := \begin{bmatrix} \delta_0 & 0 \\ \delta_1 & 0.05 \\ \delta_2 & 0.1 \\ \delta_3 & 0.15 \\ \delta_4 & 0.2 \\ \delta_5 & 0.25 \\ \delta_6 & 0.3 \\ \delta_7 & 0.35 \\ \delta_8 & 0.4 \\ \delta_9 & 0.45 \\ \delta_{10} & 0.5 \\ \delta_{11} & 0.55 \\ \delta_{12} & 0.6 \end{bmatrix} \quad a := \begin{bmatrix} a_0 & 0 \\ a_1 & 0 \\ a_1 & 0.05 \\ a_{2,1} & 0.1 \\ a_{2,2} & 0.1 \\ a_3 & 0.15 \\ a_{4,1} & 0.2 \\ a_{4,2} & 0.2 \\ a_5 & 0.25 \\ a_6 & 0.3 \\ a_7 & 0.35 \\ a_8 & 0.4 \\ a_9 & 0.45 \\ a_{10} & 0.5 \\ a_{11} & 0.55 \\ a_{12} & 0.6 \end{bmatrix}$$



Продолжение приложения А



Расчет методом последовательных интервалов самой длинной линии с отсрочкой работы защит:

$$t=0-0.05 \text{ с}$$

Ускорение в начале первого интервала:

$$a_{1o} := \frac{(P_0 - P_{asl} \cdot \sin(\delta_0)) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 0 \cdot \sin(0.165)) \cdot 314}{24.185} = 40.352$$

Приращение угла δ за первый интервал:

$$\Delta\delta_{1o} := \frac{\Delta t^2}{2} \cdot a_{1o} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{0.05^2}{2} \cdot 40.352 = 0.05$$

Угол к концу первого интервала:

$$\delta_{1o} := \delta_0 + \Delta\delta_{1o} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.165 + 0.05 = 0.215$$

$$t=0.05-0.1 \text{ с}$$

Ускорение в начале 2-го интервала:

$$a_{2o} := \frac{(P_0 - P_{asl} \cdot \sin(\delta_{1o})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 0 \cdot \sin(0.215)) \cdot 314}{24.185} = 40.352$$

Продолжение приложения А

$$\Delta\delta_{2o} := \Delta\delta_{1o} + a_{2o} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.05 + 40.352 \cdot 0.05^2 = 0.151$$

$$\delta_{2o} := \delta_{1o} + \Delta\delta_{2o} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.215 + 0.151 = 0.366$$

t=0.1-0.15 с (Откл Q2)

$$a_{3.1o} := \frac{(P_0 - P_{as1} \cdot \sin(\delta_{2o})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 0 \cdot \sin(0.366)) \cdot 314}{24.185} = 40.352$$

$$a_{3.2o} := \frac{(P_0 - P_{as2} \cdot \sin(\delta_{2o})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 9.023 \cdot \sin(0.366)) \cdot 314}{24.185} = -1.573$$

$$a_{3o} := \frac{a_{3.1o} + a_{3.2o}}{2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{40.352 + (-1.573)}{2} = 19.39$$

Приращение угла δ за 2-й интервал:

$$\Delta\delta_{3o} := \Delta\delta_{2o} + a_{3o} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.151 + 19.39 \cdot 0.05^2 = 0.199$$

Угол к концу 2-го интервала :

$$\delta_{3o} := \delta_{2o} + \Delta\delta_{3o} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.366 + 0.199 = 0.565$$

t=0.15-0.2 с

Ускорение в начале 4-го интервала:

$$a_{4o} := \frac{(P_0 - P_{as2} \cdot \sin(\delta_{3o})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 9.023 \cdot \sin(0.565)) \cdot 314}{24.185} = -22.371$$

$$\Delta\delta_{4o} := \Delta\delta_{3o} + a_{4o} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.199 + (-22.371) \cdot 0.05^2 = 0.143$$

$$\delta_{4o} := \delta_{3o} + \Delta\delta_{4o} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.565 + 0.143 = 0.708$$

Продолжение приложения А

t=0.2-0.25 с (Откл Q1)

$$a_{5.1o} := \frac{(P_{\theta} - P_{ae2} \cdot \sin(\delta_{4o})) \cdot w_{\theta}}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 9.023 \cdot \sin(0.708)) \cdot 314}{24.185} = -35.831$$

$$a_{5.2o} := \frac{(P_{\theta} - P_{na} \cdot \sin(\delta_{4o})) \cdot w_{\theta}}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(0.708)) \cdot 314}{24.185} = -68.954$$

$$a_{5o} := \frac{a_{5.1o} + a_{5.2o}}{2} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{-35.831 + -68.954}{2} = -52.393$$

$$\Delta\delta_{5o} := \Delta\delta_{4o} + a_{5o} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.143 + -52.393 \cdot 0.05^2 = 0.012$$

$$\delta_{5o} := \delta_{4o} + \Delta\delta_{5o} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.708 + 0.012 = 0.72$$

t=0.25-0.3 с

$$a_{6o} := \frac{(P_{\theta} - P_{na} \cdot \sin(\delta_{5o})) \cdot w_{\theta}}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(0.72)) \cdot 314}{24.185} = -70.478$$

$$\Delta\delta_{6o} := \Delta\delta_{5o} + a_{6o} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.012 + -70.478 \cdot 0.05^2 = -0.164$$

$$\delta_{6o} := \delta_{5o} + \Delta\delta_{6o} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.72 + -0.164 = 0.556$$

t=0.3-0.35 с

$$a_{7o} := \frac{(P_{\theta} - P_{na} \cdot \sin(\delta_{6o})) \cdot w_{\theta}}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(0.556)) \cdot 314}{24.185} = -48.36$$

$$\Delta\delta_{7o} := \Delta\delta_{6o} + a_{7o} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} -0.164 + -48.36 \cdot 0.05^2 = -0.285$$

$$\delta_{7o} := \delta_{6o} + \Delta\delta_{7o} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.556 + -0.285 = 0.271$$

Продолжение приложения А

t=0.35-0.4 с

$$a_{8o} := \frac{(P_0 - P_{n.a.} \cdot \sin(\delta_{7o})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(0.271)) \cdot 314}{24.185} = -4.643$$

$$\Delta\delta_{8o} := \Delta\delta_{7o} + a_{8o} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.285 + -4.643 \cdot 0.05^2 = -0.297$$

$$\delta_{8o} := \delta_{7o} + \Delta\delta_{8o} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.271 + -0.297 = -0.026$$

t=0.4-0.45 с

$$a_{9o} := \frac{(P_0 - P_{n.a.} \cdot \sin(\delta_{8o})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(-0.026)) \cdot 314}{24.185} = 44.722$$

$$\Delta\delta_{9o} := \Delta\delta_{8o} + a_{9o} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.297 + 44.722 \cdot 0.05^2 = -0.185$$

$$\delta_{9o} := \delta_{8o} + \Delta\delta_{9o} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.026 + -0.185 = -0.211$$

t=0.45-0.5 с

$$a_{10o} := \frac{(P_0 - P_{n.a.} \cdot \sin(\delta_{9o})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(-0.211)) \cdot 314}{24.185} = 75.555$$

$$\Delta\delta_{10o} := \Delta\delta_{9o} + a_{10o} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.185 + 75.555 \cdot 0.05^2 = 0.004$$

$$\delta_{10o} := \delta_{9o} + \Delta\delta_{10o} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.211 + 0.004 = -0.207$$

t=0.5-0.55 с

$$a_{11o} := \frac{(P_0 - P_{n.a.} \cdot \sin(\delta_{10o})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(-0.207)) \cdot 314}{24.185} = 74.897$$

Продолжение приложения А

$$\Delta\delta_{11o} := \Delta\delta_{10o} + a_{11o} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.004 + 74.897 \cdot 0.05^2 = 0.191$$

$$\delta_{11o} := \delta_{10o} + \Delta\delta_{11o} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.207 + 0.191 = -0.016$$

$$t = 0.55 - 0.6 \text{ c}$$

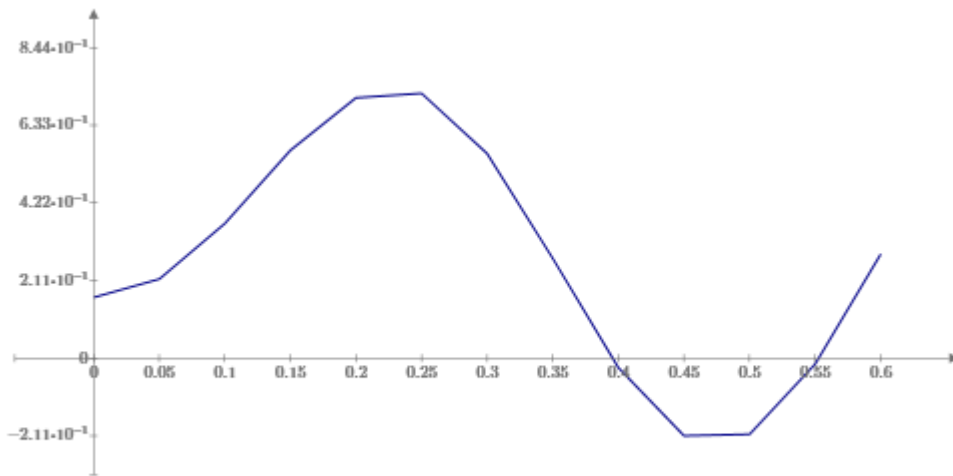
$$a_{12o} := \frac{(P_0 - P_{n.a.} \cdot \sin(\delta_{11o})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.946 \cdot \sin(-0.016)) \cdot 314}{24.185} = 43.041$$

$$\Delta\delta_{12o} := \Delta\delta_{11o} + a_{12o} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.191 + 43.041 \cdot 0.05^2 = 0.299$$

$$\delta_{12o} := \delta_{11o} + \Delta\delta_{12o} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.016 + 0.299 = 0.283$$

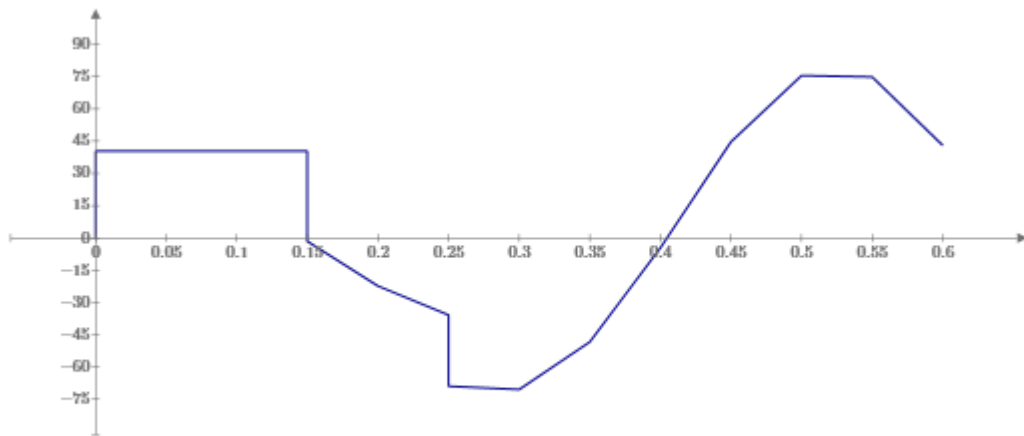
$$\delta_o := \begin{bmatrix} \delta_0 & 0 \\ \delta_{1o} & 0.05 \\ \delta_{2o} & 0.1 \\ \delta_{3o} & 0.15 \\ \delta_{4o} & 0.2 \\ \delta_{5o} & 0.25 \\ \delta_{6o} & 0.3 \\ \delta_{7o} & 0.35 \\ \delta_{8o} & 0.4 \\ \delta_{9o} & 0.45 \\ \delta_{10o} & 0.5 \\ \delta_{11o} & 0.55 \\ \delta_{12o} & 0.6 \end{bmatrix} \quad a_o := \begin{bmatrix} a_0 & 0 \\ a_{1o} & 0 \\ a_{1o} & 0.05 \\ a_{2o} & 0.1 \\ a_{3,1o} & 0.15 \\ a_{3,2o} & 0.15 \\ a_{4o} & 0.2 \\ a_{5,1o} & 0.25 \\ a_{5,2o} & 0.25 \\ a_{6o} & 0.3 \\ a_{7o} & 0.35 \\ a_{8o} & 0.4 \\ a_{9o} & 0.45 \\ a_{10o} & 0.5 \\ a_{11o} & 0.55 \\ a_{12o} & 0.6 \end{bmatrix}$$

Продолжение приложения А



$\delta_o^{(0)}$

$\delta_o^{(1)}$



$a_o^{(0)}$

$a_o^{(1)}$

$$P_{ном.К} := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{HP.2}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{2.382}{0.126} = 18.905$$

$$P_{ас1.К} := 0$$

$$P_{ас2.К} := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{ас2.2}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{2.382}{0.496} = 4.802$$

$$P_{н.а.К} := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{н.ас.2}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{2.382}{0.187} = 12.738$$

Продолжение приложения А

Исходный и критический углы для характеристики нормального режима:

$$\delta_{0.K} := \operatorname{asin}\left(\frac{P_0}{P_{\text{ном.К}}}\right) \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \operatorname{asin}\left(\frac{3.108}{18.905}\right) = 0.165$$

$$\delta_{\text{кр1.К}} := \pi - \operatorname{asin}\left(\frac{P_0}{P_{\text{ном.К}}}\right) \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \pi - \operatorname{asin}\left(\frac{3.108}{18.905}\right) = 2.976$$

Критический угол для характеристики послеаварийного режима:

$$\delta_{\text{кр2.К}} := \pi - \operatorname{asin}\left(\frac{P_0}{P_{\text{н.а.К}}}\right) \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \pi - \operatorname{asin}\left(\frac{3.108}{12.738}\right) = 2.895$$

Расчет методом последовательных интервалов самой короткой

t=0-0.05 с

Ускорение в начале первого интервала:

$$a_{1.K} := \frac{(P_0 - P_{\text{ас1.К}} \cdot \sin(\delta_{0.K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 0 \cdot \sin(0.165)) \cdot 314}{24.185} = 40.352$$

Приращение угла δ за первый интервал:

$$\Delta\delta_{1.K} := \frac{\Delta t^2}{2} \cdot a_{1.K} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{0.05^2}{2} \cdot 40.352 = 0.05$$

Угол к концу первого интервала:

$$\delta_{1.K} := \delta_{0.K} + \Delta\delta_{1.K} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.165 + 0.05 = 0.215$$

t=0.05-0.1 с (Откл Q2)

Ускорение в начале 2-го интервала:

$$a_{2.1.K} := \frac{(P_0 - P_{\text{ас1.К}} \cdot \sin(\delta_{1.K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 0 \cdot \sin(0.215)) \cdot 314}{24.185} = 40.352$$

Продолжение приложения А

$$a_{2.2K} := \frac{(P_0 - P_{as2K} \cdot \sin(\delta_{1K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 4.802 \cdot \sin(0.215)) \cdot 314}{24.185} = 27.051$$

$$a_{2K} := \frac{a_{2.1K} + a_{2.2K}}{2} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{40.352 + 27.051}{2} = 33.702$$

Приращение угла δ за 2-й интервал:

$$\Delta\delta_{2K} := \Delta\delta_{1K} + a_{2K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.05 + 33.702 \cdot 0.05^2 = 0.134$$

Угол к концу 2-го интервала :

$$\delta_{2K} := \delta_{1K} + \Delta\delta_{2K} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.215 + 0.134 = 0.349$$

t=0.1-0.15 с

$$a_{3K} := \frac{(P_0 - P_{as2K} \cdot \sin(\delta_{2K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 4.802 \cdot \sin(0.349)) \cdot 314}{24.185} = 19.032$$

$$\Delta\delta_{3K} := \Delta\delta_{2K} + a_{3K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.134 + 19.032 \cdot 0.05^2 = 0.182$$

$$\delta_{3K} := \delta_{2K} + \Delta\delta_{3K} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.349 + 0.182 = 0.531$$

t=0.15-0.2 с (Откл Q1)

Ускорение в начале 4-го интервала:

$$a_{4.1K} := \frac{(P_0 - P_{as2K} \cdot \sin(\delta_{3K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 4.802 \cdot \sin(0.531)) \cdot 314}{24.185} = 8.78$$

$$a_{4.2K} := \frac{(P_0 - P_{naK} \cdot \sin(\delta_{3K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(0.531)) \cdot 314}{24.185} = -43.396$$

Продолжение приложения А

$$a_{4,K} := \frac{a_{4.1,K} + a_{4.2,K}}{2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{8.78 + -43.396}{2} = -17.308$$

$$\Delta\delta_{4,K} := \Delta\delta_{3,K} + a_{4,K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.182 + -17.308 \cdot 0.05^2 = 0.139$$

$$\delta_{4,K} := \delta_{3,K} + \Delta\delta_{4,K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.531 + 0.139 = 0.67$$

$$t = 0.2 - 0.25 \text{ c}$$

$$a_{5,K} := \frac{(P_0 - P_{n.a,K} \cdot \sin(\delta_{4,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(0.67)) \cdot 314}{24.185} = -62.347$$

$$\Delta\delta_{5,K} := \Delta\delta_{4,K} + a_{5,K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.139 + -62.347 \cdot 0.05^2 = -0.017$$

$$\delta_{5,K} := \delta_{4,K} + \Delta\delta_{5,K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.67 + -0.017 = 0.653$$

$$t = 0.25 - 0.3 \text{ c}$$

$$a_{6,K} := \frac{(P_0 - P_{n.a,K} \cdot \sin(\delta_{5,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(0.653)) \cdot 314}{24.185} = -60.129$$

$$\Delta\delta_{6,K} := \Delta\delta_{5,K} + a_{6,K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.017 + -60.129 \cdot 0.05^2 = -0.167$$

$$\delta_{6,K} := \delta_{5,K} + \Delta\delta_{6,K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.653 + -0.167 = 0.486$$

$$t = 0.3 - 0.35 \text{ c}$$

$$a_{7,K} := \frac{(P_0 - P_{n.a,K} \cdot \sin(\delta_{6,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(0.486)) \cdot 314}{24.185} = -36.896$$

Продолжение приложения А

$$\Delta\delta_{7.K} := \Delta\delta_{6.K} + a_{7.K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.167 + -36.896 \cdot 0.05^2 = -0.259$$

$$\delta_{7.K} := \delta_{6.K} + \Delta\delta_{7.K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.486 + -0.259 = 0.227$$

$$t=0.35-0.4 \text{ с}$$

$$a_{8.K} := \frac{(P_0 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{7.K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(0.227)) \cdot 314}{24.185} = 3.132$$

$$\Delta\delta_{8.K} := \Delta\delta_{7.K} + a_{8.K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.259 + 3.132 \cdot 0.05^2 = -0.251$$

$$\delta_{8.K} := \delta_{7.K} + \Delta\delta_{8.K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.227 + -0.251 = -0.024$$

$$t=0.4-0.45 \text{ с}$$

$$a_{9.K} := \frac{(P_0 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{8.K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(-0.024)) \cdot 314}{24.185} = 44.321$$

$$\Delta\delta_{9.K} := \Delta\delta_{8.K} + a_{9.K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.251 + 44.321 \cdot 0.05^2 = -0.14$$

$$\delta_{9.K} := \delta_{8.K} + \Delta\delta_{9.K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.024 + -0.14 = -0.164$$

$$t=0.45-0.5 \text{ с}$$

$$a_{10.K} := \frac{(P_0 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{9.K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(-0.164)) \cdot 314}{24.185} = 67.353$$

$$\Delta\delta_{10.K} := \Delta\delta_{9.K} + a_{10.K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.14 + 67.353 \cdot 0.05^2 = 0.028$$

$$\delta_{10.K} := \delta_{9.K} + \Delta\delta_{10.K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.164 + 0.028 = -0.136$$

Продолжение приложения А

t=0.5-0.55 с

$$a_{11.K} := \frac{(P_0 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{10.K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(-0.136)) \cdot 314}{24.185} = 62.774$$

$$\Delta\delta_{11.K} := \Delta\delta_{10.K} + a_{11.K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.028 + 62.774 \cdot 0.05^2 = 0.185$$

$$\delta_{11.K} := \delta_{10.K} + \Delta\delta_{11.K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.136 + 0.185 = 0.049$$

t=0.55-0.6 с

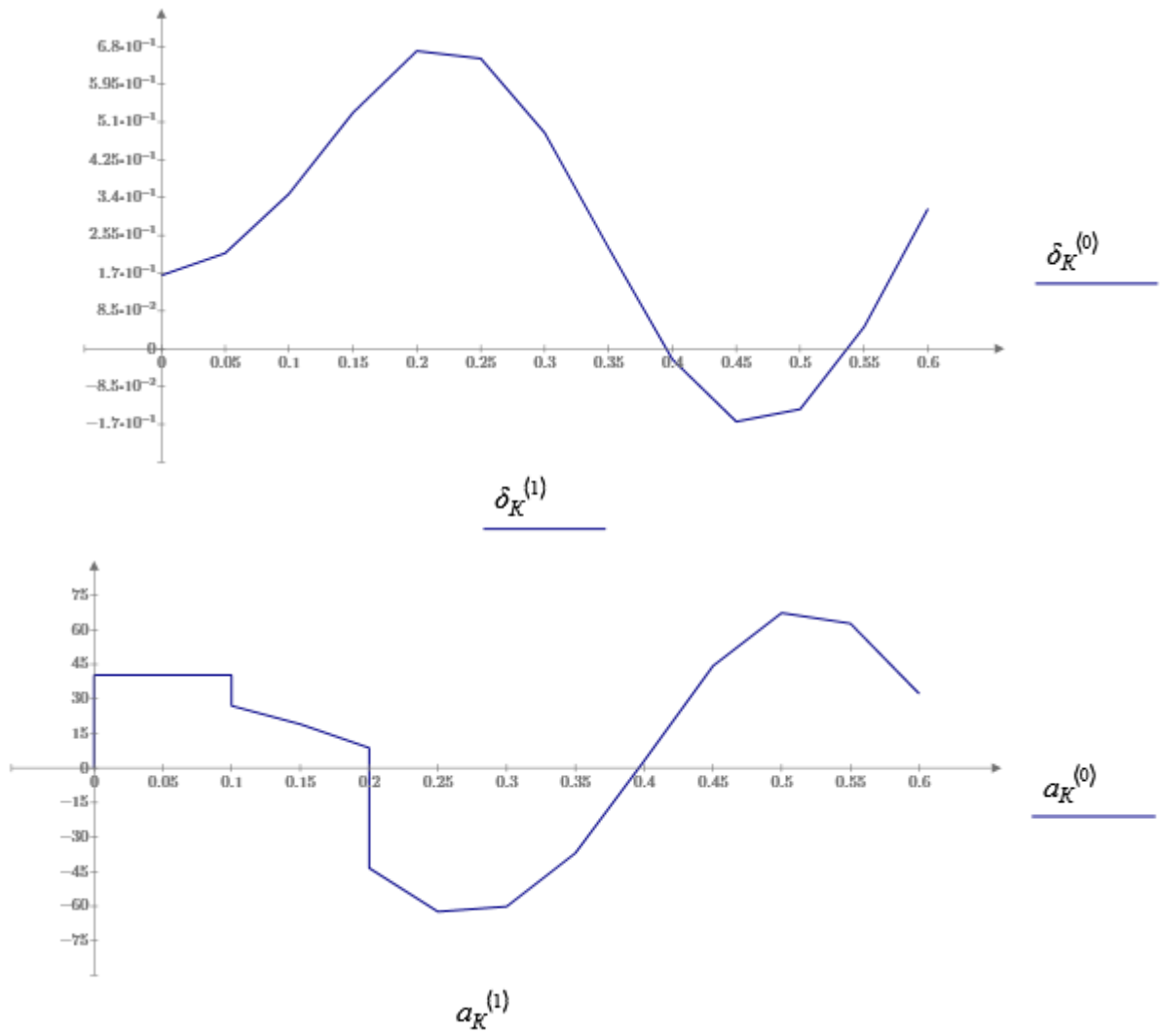
$$a_{12.K} := \frac{(P_0 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{11.K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(0.049)) \cdot 314}{24.185} = 32.252$$

$$\Delta\delta_{12.K} := \Delta\delta_{11.K} + a_{12.K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.185 + 32.252 \cdot 0.05^2 = 0.266$$

$$\delta_{12.K} := \delta_{11.K} + \Delta\delta_{12.K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.049 + 0.266 = 0.315$$

$$\delta_K := \begin{bmatrix} \delta_{0.K} & 0 \\ \delta_{1.K} & 0.05 \\ \delta_{2.K} & 0.1 \\ \delta_{3.K} & 0.15 \\ \delta_{4.K} & 0.2 \\ \delta_{5.K} & 0.25 \\ \delta_{6.K} & 0.3 \\ \delta_{7.K} & 0.35 \\ \delta_{8.K} & 0.4 \\ \delta_{9.K} & 0.45 \\ \delta_{10.K} & 0.5 \\ \delta_{11.K} & 0.55 \\ \delta_{12.K} & 0.6 \end{bmatrix} \quad a_K := \begin{bmatrix} a_0 & 0 \\ a_{1.K} & 0 \\ a_{1.K} & 0.05 \\ a_{2.1.K} & 0.1 \\ a_{2.2.K} & 0.1 \\ a_{3.K} & 0.15 \\ a_{4.1.K} & 0.2 \\ a_{4.2.K} & 0.2 \\ a_{5.K} & 0.25 \\ a_{6.K} & 0.3 \\ a_{7.K} & 0.35 \\ a_{8.K} & 0.4 \\ a_{9.K} & 0.45 \\ a_{10.K} & 0.5 \\ a_{11.K} & 0.55 \\ a_{12.K} & 0.6 \end{bmatrix}$$

Продолжение приложения А



Расчет методом последовательных интервалов самой короткой линии с отсрочкой работы защит:

$t=0-0.05$ с

Ускорение в начале первого интервала:

$$a_{1,K} := \frac{(P_0 - P_{асл,K} \cdot \sin(\delta_{0,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 0 \cdot \sin(0.165)) \cdot 314}{24.185} = 40.352$$

Приращение угла δ за первый интервал:

$$\Delta\delta_{1,K} := \frac{\Delta t^2}{2} \cdot a_{1,K} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{0.05^2}{2} \cdot 40.352 = 0.05$$

Продолжение приложения А

Угол к концу первого интервала:

$$\delta_{1,K} := \delta_{0,K} + \Delta\delta_{1,K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.165 + 0.05 = 0.215$$

t=0.05-0.1 с

Ускорение в начале 2-го интервала:

$$a_{2,K} := \frac{(P_0 - P_{as1,K} \cdot \sin(\delta_{1,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 0 \cdot \sin(0.215)) \cdot 314}{24.185} = 40.352$$

$$\Delta\delta_{2,K} := \Delta\delta_{1,K} + a_{2,K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.05 + 40.352 \cdot 0.05^2 = 0.151$$

$$\delta_{2,K} := \delta_{1,K} + \Delta\delta_{2,K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.215 + 0.151 = 0.366$$

t=0.1-0.15 с (Откл Q2)

$$a_{3.1,K} := \frac{(P_0 - P_{as1,K} \cdot \sin(\delta_{2,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 0 \cdot \sin(0.366)) \cdot 314}{24.185} = 40.352$$

$$a_{3.2,K} := \frac{(P_0 - P_{as2,K} \cdot \sin(\delta_{2,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 4.802 \cdot \sin(0.366)) \cdot 314}{24.185} = 18.04$$

$$a_{3,K} := \frac{a_{3.1,K} + a_{3.2,K}}{2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{40.352 + 18.04}{2} = 29.196$$

Приращение угла δ за 2-й интервал:

$$\Delta\delta_{3,K} := \Delta\delta_{2,K} + a_{3,K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.151 + 29.196 \cdot 0.05^2 = 0.224$$

Угол к концу 2-го интервала :

$$\delta_{3,K} := \delta_{2,K} + \Delta\delta_{3,K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.366 + 0.224 = 0.59$$

Продолжение приложения А

t=0.15-0.2 с

Ускорение в начале 4-го интервала:

$$a_{4,K} := \frac{(P_0 - P_{as2,K} \cdot \sin(\delta_{3,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 4.802 \cdot \sin(0.59)) \cdot 314}{24.185} = 5.665$$

$$\Delta\delta_{4,K} := \Delta\delta_{3,K} + a_{4,K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.224 + 5.665 \cdot 0.05^2 = 0.238$$

$$\delta_{4,K} := \delta_{3,K} + \Delta\delta_{4,K} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.59 + 0.238 = 0.828$$

t=0.2-0.25 с (ОТКЛ Q1)

$$a_{5.1,K} := \frac{(P_0 - P_{as2,K} \cdot \sin(\delta_{4,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 4.802 \cdot \sin(0.828)) \cdot 314}{24.185} = -5.571$$

$$a_{5.2,K} := \frac{(P_0 - P_{na,K} \cdot \sin(\delta_{4,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(0.828)) \cdot 314}{24.185} = -81.464$$

$$a_{5,K} := \frac{a_{5.1,K} + a_{5.2,K}}{2} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{-5.571 + -81.464}{2} = -43.518$$

$$\Delta\delta_{5,K} := \Delta\delta_{4,K} + a_{5,K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.238 + -43.518 \cdot 0.05^2 = 0.129$$

$$\delta_{5,K} := \delta_{4,K} + \Delta\delta_{5,K} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.828 + 0.129 = 0.957$$

t=0.25-0.3 с

$$a_{6,K} := \frac{(P_0 - P_{na,K} \cdot \sin(\delta_{5,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(0.957)) \cdot 314}{24.185} = -94.841$$

$$\Delta\delta_{6,K} := \Delta\delta_{5,K} + a_{6,K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.129 + -94.841 \cdot 0.05^2 = -0.108$$

Продолжение приложения А

$$\delta_{6,K} := \delta_{5,K} + \Delta\delta_{6,K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.957 + -0.108 = 0.849$$

$$t=0.3-0.35 \text{ c}$$

$$a_{7,K} := \frac{(P_0 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{6,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(0.849)) \cdot 314}{24.185} = -83.786$$

$$\Delta\delta_{7,K} := \Delta\delta_{6,K} + a_{7,K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.108 + -83.786 \cdot 0.05^2 = -0.317$$

$$\delta_{7,K} := \delta_{6,K} + \Delta\delta_{7,K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.849 + -0.317 = 0.532$$

$$t=0.35-0.4 \text{ c}$$

$$a_{8,K} := \frac{(P_0 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{7,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(0.532)) \cdot 314}{24.185} = -43.539$$

$$\Delta\delta_{8,K} := \Delta\delta_{7,K} + a_{8,K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.317 + -43.539 \cdot 0.05^2 = -0.426$$

$$\delta_{8,K} := \delta_{7,K} + \Delta\delta_{8,K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.532 + -0.426 = 0.106$$

$$t=0.4-0.45 \text{ c}$$

$$a_{9,K} := \frac{(P_0 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{8,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(0.106)) \cdot 314}{24.185} = 22.854$$

$$\Delta\delta_{9,K} := \Delta\delta_{8,K} + a_{9,K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.426 + 22.854 \cdot 0.05^2 = -0.369$$

$$\delta_{9,K} := \delta_{8,K} + \Delta\delta_{9,K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.106 + -0.369 = -0.263$$

$$t=0.45-0.5 \text{ c}$$

$$a_{10,K} := \frac{(P_0 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{9,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(-0.263)) \cdot 314}{24.185} = 83.347$$

Продолжение приложения А

$$\Delta\delta_{10.K} := \Delta\delta_{9.K} + a_{10.K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.369 + 83.347 \cdot 0.05^2 = -0.161$$

$$\delta_{10.K} := \delta_{9.K} + \Delta\delta_{10.K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.263 + -0.161 = -0.424$$

$$t = 0.55 - 0.6 \text{ с}$$

$$a_{11.K} := \frac{(P_0 - P_{na.K} \cdot \sin(\delta_{10.K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(-0.424)) \cdot 314}{24.185} = 108.391$$

$$\Delta\delta_{11.K} := \Delta\delta_{10.K} + a_{11.K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.161 + 108.391 \cdot 0.05^2 = 0.11$$

$$\delta_{11.K} := \delta_{10.K} + \Delta\delta_{11.K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.424 + 0.11 = -0.314$$

$$t = 0.5 - 0.55 \text{ с}$$

$$a_{12.K} := \frac{(P_0 - P_{na.K} \cdot \sin(\delta_{11.K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(-0.314)) \cdot 314}{24.185} = 91.432$$

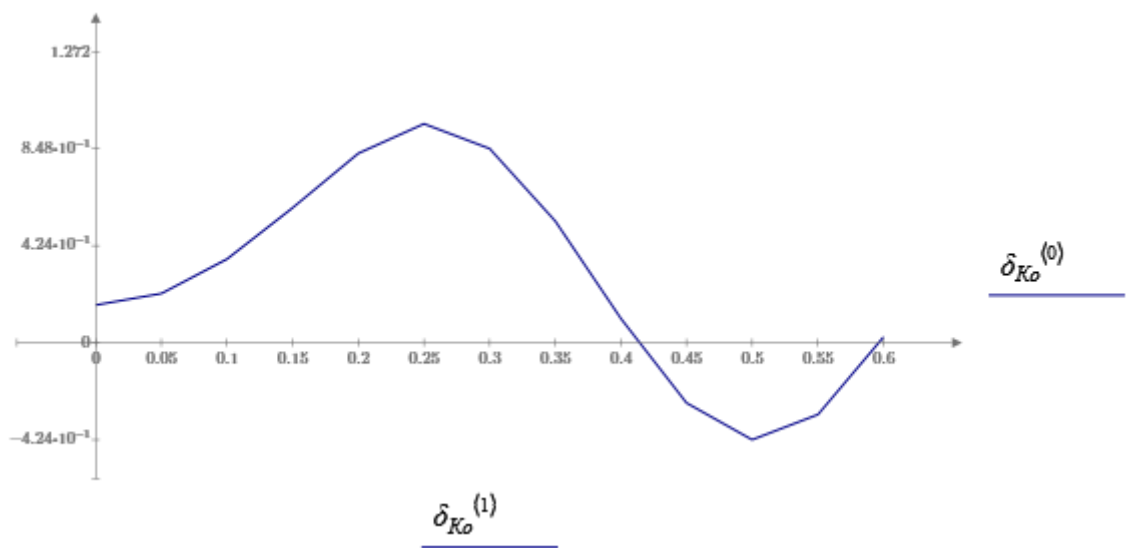
$$\Delta\delta_{12.K} := \Delta\delta_{11.K} + a_{12.K} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.11 + 91.432 \cdot 0.05^2 = 0.339$$

$$\delta_{12.K} := \delta_{11.K} + \Delta\delta_{12.K} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.314 + 0.339 = 0.025$$

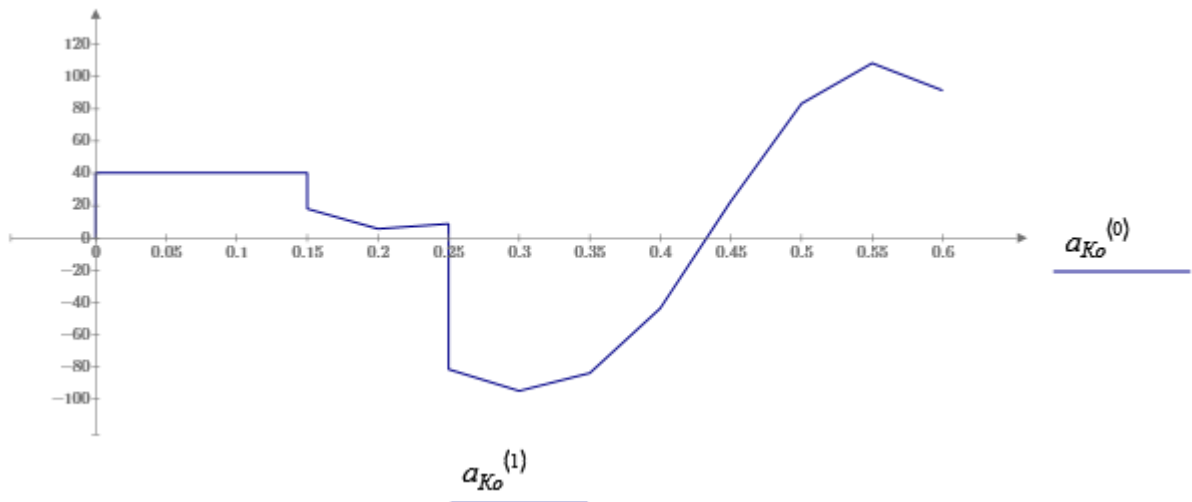
Продолжение приложения А

$$\tilde{\delta}_{Ko} := \begin{bmatrix} \delta_{0,K} & 0 \\ \delta_{1,K} & 0.05 \\ \delta_{2,K} & 0.1 \\ \delta_{3,K} & 0.15 \\ \delta_{4,K} & 0.2 \\ \delta_{5,K} & 0.25 \\ \delta_{6,K} & 0.3 \\ \delta_{7,K} & 0.35 \\ \delta_{8,K} & 0.4 \\ \delta_{9,K} & 0.45 \\ \delta_{10,K} & 0.5 \\ \delta_{11,K} & 0.55 \\ \delta_{12,K} & 0.6 \end{bmatrix}$$

$$a_{Ko} := \begin{bmatrix} a_0 & 0 \\ a_{1,K} & 0 \\ a_{1,K} & 0.05 \\ a_{2,K} & 0.1 \\ a_{3,1,K} & 0.15 \\ a_{3,2,K} & 0.15 \\ a_{4,K} & 0.2 \\ a_{4,1,K} & 0.25 \\ a_{5,2,K} & 0.25 \\ a_{6,K} & 0.3 \\ a_{7,K} & 0.35 \\ a_{8,K} & 0.4 \\ a_{9,K} & 0.45 \\ a_{10,K} & 0.5 \\ a_{11,K} & 0.55 \\ a_{12,K} & 0.6 \end{bmatrix}$$



Продолжение приложения А



Расчёт импульсной разгрузки турбогенератора
Первый вариант разгрузки:

$$t=0-0.05 \text{ с}$$

Ускорение в начале первого интервала:

$$a_{1.p} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{асл.К} \cdot \sin(\delta_{0.К})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 40.352$$

Приращение угла δ за первый интервал:

$$\Delta\delta_{1.p} := \frac{\Delta t^2}{2} \cdot a_{1.p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{0.05^2}{2} \cdot 40.352 = 0.05$$

Угол к концу первого интервала:

$$\delta_{1.p} := \delta_{0.К} + \Delta\delta_{1.p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.165 + 0.05 = 0.215$$

$$t=0.05-0.1 \text{ с (Откл Q2)}$$

Ускорение в начале 2-го интервала:

$$a_{2.1.p} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{асл.К} \cdot \sin(\delta_{1.p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 40.352$$

Продолжение приложения А

$$a_{2.2.p} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{as2.K} \cdot \sin(\delta_{1.p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 27.051$$

$$a_{2.p} := \frac{a_{2.1.p} + a_{2.2.p}}{2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{40.352 + 27.051}{2} = 33.702$$

Приращение угла δ за 2-й интервал:

$$\Delta\delta_{2.p} := \Delta\delta_{1.p} + a_{2.p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.05 + 33.702 \cdot 0.05^2 = 0.134$$

Угол к концу 2-го интервала :

$$\delta_{2.p} := \delta_{1.p} + \Delta\delta_{2.p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.215 + 0.134 = 0.349$$

t=0.1-0.15 с

$$a_{3.p} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{as2.K} \cdot \sin(\delta_{2.p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 4.802 \cdot \sin(0.349)) \cdot 314}{24.185} = 19.032$$

$$\Delta\delta_{3.p} := \Delta\delta_{2.p} + a_{3.p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.134 + 19.032 \cdot 0.05^2 = 0.182$$

$$\delta_{3.p} := \delta_{2.p} + \Delta\delta_{3.p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.349 + 0.182 = 0.531$$

t=0.15-0.2 с (Откл Q1)

Ускорение в начале 4-го интервала:

$$a_{4.1.p} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{as2.K} \cdot \sin(\delta_{3.p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 4.802 \cdot \sin(0.531)) \cdot 314}{24.185} = 8.78$$

$$a_{4.2.p} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{na.K} \cdot \sin(\delta_{3.p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{(3.108 - 12.738 \cdot \sin(0.531)) \cdot 314}{24.185} = -43.396$$

Продолжение приложения А

$$a_{4,p} := \frac{a_{4.1,p} + a_{4.2,p}}{2} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{8.78 + -43.396}{2} = -17.308$$

$$\Delta\delta_{4,p} := \Delta\delta_{3,p} + a_{4,p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.182 + -17.308 \cdot 0.05^2 = 0.139$$

$$\delta_{4,p} := \delta_{3,p} + \Delta\delta_{4,p} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.531 + 0.139 = 0.67$$

$$t=0.2-0.25 \text{ c}$$

$$a_{5,p} := \frac{(P_0 \cdot 0.9 - P_{naK} \cdot \sin(\delta_{4,p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -66.382$$

$$\Delta\delta_{5,p} := \Delta\delta_{4,p} + a_{5,p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.139 + -66.382 \cdot 0.05^2 = -0.027$$

$$\delta_{5,p} := \delta_{4,p} + \Delta\delta_{5,p} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.67 + -0.027 = 0.643$$

$$t=0.25-0.3 \text{ c}$$

$$a_{6,p} := \frac{(P_0 \cdot 0.8 - P_{naK} \cdot \sin(\delta_{5,p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -66.881$$

$$\Delta\delta_{6,p} := \Delta\delta_{5,p} + a_{6,p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} -0.027 + -66.881 \cdot 0.05^2 = -0.194$$

$$\delta_{6,p} := \delta_{5,p} + \Delta\delta_{6,p} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.643 + -0.194 = 0.449$$

$$t=0.3-0.35 \text{ c}$$

$$a_{7,p} := \frac{(P_0 \cdot 0.7 - P_{naK} \cdot \sin(\delta_{6,p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -43.54$$

$$\Delta\delta_{7,p} := \Delta\delta_{6,p} + a_{7,p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} -0.194 + -43.54 \cdot 0.05^2 = -0.303$$

Продолжение приложения А

$$\delta_{7,p} := \delta_{6,p} + \Delta\delta_{7,p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.449 + -0.303 = 0.146$$

$$t=0.35-0.4 \text{ c}$$

$$a_{8,p} := \frac{(P_0 \cdot 0.6 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{7,p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 0.151$$

$$\Delta\delta_{8,p} := \Delta\delta_{7,p} + a_{8,p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.303 + 0.151 \cdot 0.05^2 = -0.303$$

$$\delta_{8,p} := \delta_{7,p} + \Delta\delta_{8,p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.146 + -0.303 = -0.157$$

$$t=0.4-0.45 \text{ c}$$

$$a_{9,p} := \frac{(P_0 \cdot 0.53 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{8,p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 47.245$$

$$\Delta\delta_{9,p} := \Delta\delta_{8,p} + a_{9,p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.303 + 47.245 \cdot 0.05^2 = -0.185$$

$$\delta_{9,p} := \delta_{8,p} + \Delta\delta_{9,p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.157 + -0.185 = -0.342$$

$$t=0.45-0.5 \text{ c}$$

$$a_{10,p} := \frac{(P_0 \cdot 0.47 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{9,p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 74.429$$

$$\Delta\delta_{10,p} := \Delta\delta_{9,p} + a_{10,p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.185 + 74.429 \cdot 0.05^2 = 0.001$$

$$\delta_{10,p} := \delta_{9,p} + \Delta\delta_{10,p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.342 + 0.001 = -0.341$$

$$t=0.5-0.55 \text{ c}$$

$$a_{11,p} := \frac{(P_0 \cdot 0.43 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{10,p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 72.66$$

Продолжение приложения А

$$\Delta\delta_{11,p} := \Delta\delta_{10,p} + a_{11,p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.001 + 72.66 \cdot 0.05^2 = 0.183$$

$$\delta_{11,p} := \delta_{10,p} + \Delta\delta_{11,p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.341 + 0.183 = -0.158$$

$$t = 0.55 - 0.6 \text{ с}$$

$$a_{12,p} := \frac{(P_0 \cdot 0.41 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{11,p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 42.566$$

$$\Delta\delta_{12,p} := \Delta\delta_{11,p} + a_{12,p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.183 + 42.566 \cdot 0.05^2 = 0.289$$

$$\delta_{12,p} := \delta_{11,p} + \Delta\delta_{12,p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.158 + 0.289 = 0.131$$

$$t = 0.6 - 0.65 \text{ с}$$

$$a_{13,p} := \frac{(P_0 \cdot 0.41 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{12,p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -5.059$$

$$\Delta\delta_{13,p} := \Delta\delta_{12,p} + a_{13,p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.289 + (-5.059) \cdot 0.05^2 = 0.276$$

$$\delta_{13,p} := \delta_{12,p} + \Delta\delta_{13,p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.131 + 0.276 = 0.407$$

$$t = 0.65 - 0.7 \text{ с}$$

$$a_{14,p} := \frac{(P_0 \cdot 0.42 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{13,p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -48.519$$

$$\Delta\delta_{14,p} := \Delta\delta_{13,p} + a_{14,p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.276 + (-48.519) \cdot 0.05^2 = 0.155$$

$$\delta_{14,p} := \delta_{13,p} + \Delta\delta_{14,p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.407 + 0.155 = 0.562$$

Продолжение приложения А

$$t=0.7-0.75 \text{ с}$$

$$a_{15,p} := \frac{(P_0 \cdot 0.45 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{14,p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -69.97$$

$$\Delta\delta_{15,p} := \Delta\delta_{14,p} + a_{15,p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.155 + -69.97 \cdot 0.05^2 = -0.02$$

$$\delta_{15,p} := \delta_{14,p} + \Delta\delta_{15,p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.562 + -0.02 = 0.542$$

$$t=0.75-0.8 \text{ с}$$

$$a_{16,p} := \frac{(P_0 \cdot 0.48 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{15,p})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -65.943$$

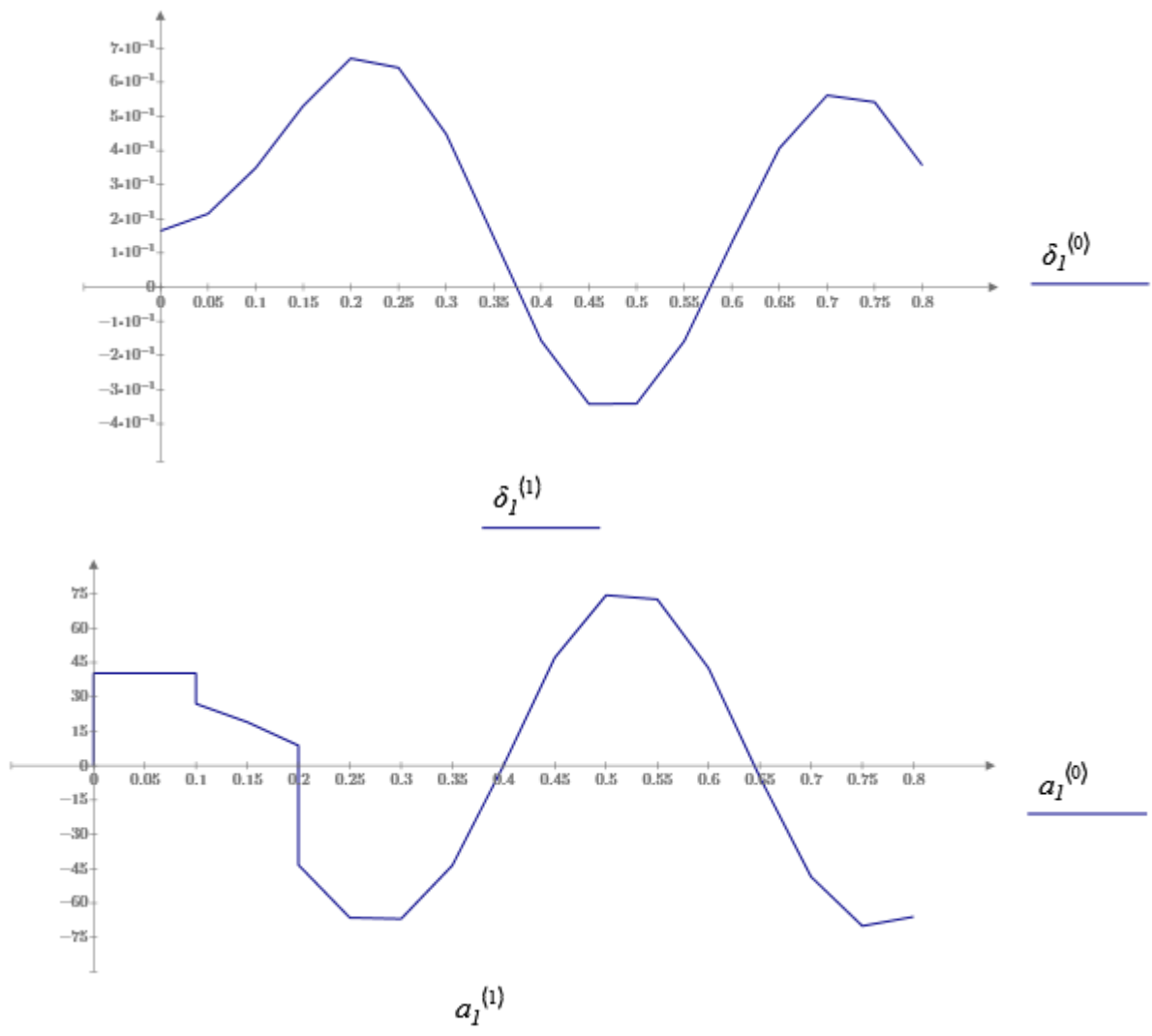
$$\Delta\delta_{16,p} := \Delta\delta_{15,p} + a_{16,p} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.02 + -65.943 \cdot 0.05^2 = -0.185$$

$$\delta_{16,p} := \delta_{15,p} + \Delta\delta_{16,p} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.542 + -0.185 = 0.357$$

$$\delta_l := \begin{bmatrix} \delta_{0,K} & 0 \\ \delta_{1,p} & 0.05 \\ \delta_{2,p} & 0.1 \\ \delta_{3,p} & 0.15 \\ \delta_{4,p} & 0.2 \\ \delta_{5,p} & 0.25 \\ \delta_{6,p} & 0.3 \\ \delta_{7,p} & 0.35 \\ \delta_{8,p} & 0.4 \\ \delta_{9,p} & 0.45 \\ \delta_{10,p} & 0.5 \\ \delta_{11,p} & 0.55 \\ \delta_{12,p} & 0.6 \\ \delta_{13,p} & 0.65 \\ \delta_{14,p} & 0.7 \\ \delta_{15,p} & 0.75 \\ \delta_{16,p} & 0.8 \end{bmatrix}$$

$$a_l := \begin{bmatrix} a_0 & 0 \\ a_{1,p} & 0 \\ a_{1,p} & 0.05 \\ a_{2.1,p} & 0.1 \\ a_{2.2,p} & 0.1 \\ a_{3,p} & 0.15 \\ a_{4.1,p} & 0.2 \\ a_{4.2,p} & 0.2 \\ a_{5,p} & 0.25 \\ a_{6,p} & 0.3 \\ a_{7,p} & 0.35 \\ a_{8,p} & 0.4 \\ a_{9,p} & 0.45 \\ a_{10,p} & 0.5 \\ a_{11,p} & 0.55 \\ a_{12,p} & 0.6 \\ a_{13,p} & 0.65 \\ a_{14,p} & 0.7 \\ a_{15,p} & 0.75 \\ a_{16,p} & 0.8 \end{bmatrix}$$

Продолжение приложения А



Второй вариант ИТР:

$t=0-0.05$ с

Ускорение в начале первого интервала:

$$a_{1,p2} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{ас1,K} \cdot \sin(\delta_{0,K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 40.352$$

Приращение угла δ за первый интервал:

$$\Delta\delta_{1,p2} := \frac{\Delta t^2}{2} \cdot a_{1,p2} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{0.05^2}{2} \cdot 40.352 = 0.05$$

Продолжение приложения А

Угол к концу первого интервала:

$$\delta_{1,p2} := \delta_{0,K} + \Delta\delta_{1,p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.165 + 0.05 = 0.215$$

t=0.05-0.1 с (Откл Q2)

Ускорение в начале 2-го интервала:

$$a_{2.1,p2} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{as1,K} \cdot \sin(\delta_{1,p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 40.352$$

$$a_{2.2,p2} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{as2,K} \cdot \sin(\delta_{1,p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 27.051$$

$$a_{2,p2} := \frac{a_{2.1,p2} + a_{2.2,p2}}{2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{40.352 + 27.051}{2} = 33.702$$

Приращение угла δ за 2-й интервал:

$$\Delta\delta_{2,p2} := \Delta\delta_{1,p2} + a_{2,p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.05 + 33.702 \cdot 0.05^2 = 0.134$$

Угол к концу 2-го интервала :

$$\delta_{2,p2} := \delta_{1,p2} + \Delta\delta_{2,p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.215 + 0.134 = 0.349$$

t=0.1-0.15 с

$$a_{3,p2} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{as2,K} \cdot \sin(\delta_{2,p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 19.032$$

$$\Delta\delta_{3,p2} := \Delta\delta_{2,p2} + a_{3,p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.134 + 19.032 \cdot 0.05^2 = 0.182$$

$$\delta_{3,p2} := \delta_{2,p2} + \Delta\delta_{3,p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.349 + 0.182 = 0.531$$

Продолжение приложения А

t=0.15-0.2 с (Откл Q1)

Ускорение в начале 4-го интервала:

$$a_{4.1.p2} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{ас2.K} \cdot \sin(\delta_{3.p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 8.78$$

$$a_{4.2.p2} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{наК} \cdot \sin(\delta_{3.p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -43.396$$

$$a_{4.p2} := \frac{a_{4.1.p2} + a_{4.2.p2}}{2} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{8.78 + -43.396}{2} = -17.308$$

$$\Delta\delta_{4.p2} := \Delta\delta_{3.p2} + a_{4.p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.182 + -17.308 \cdot 0.05^2 = 0.139$$

$$\delta_{4.p2} := \delta_{3.p2} + \Delta\delta_{4.p2} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.531 + 0.139 = 0.67$$

t=0.2-0.25 с

$$a_{5.p2} := \frac{(P_0 \cdot 0.97 - P_{наК} \cdot \sin(\delta_{4.p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -63.558$$

$$\Delta\delta_{5.p2} := \Delta\delta_{4.p2} + a_{5.p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.139 + -63.558 \cdot 0.05^2 = -0.02$$

$$\delta_{5.p2} := \delta_{4.p2} + \Delta\delta_{5.p2} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.67 + -0.027 = 0.643$$

t=0.25-0.3 с

$$a_{6.p2} := \frac{(P_0 \cdot 0.89 - P_{наК} \cdot \sin(\delta_{5.p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -63.249$$

$$\Delta\delta_{6.p2} := \Delta\delta_{5.p2} + a_{6.p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} -0.02 + -63.249 \cdot 0.05^2 = -0.178$$

Продолжение приложения А

$$\delta_{6,p2} := \delta_{5,p2} + \Delta\delta_{6,p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.643 + -0.178 = 0.465$$

$$t=0.3-0.35 \text{ c}$$

$$a_{7,p2} := \frac{(P_0 \cdot 0.77 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{6,p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -43.089$$

$$\Delta\delta_{7,p2} := \Delta\delta_{6,p2} + a_{7,p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.178 + -43.089 \cdot 0.05^2 = -0.286$$

$$\delta_{7,p2} := \delta_{6,p2} + \Delta\delta_{7,p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.465 + -0.286 = 0.179$$

$$t=0.35-0.4 \text{ c}$$

$$a_{8,p2} := \frac{(P_0 \cdot 0.39 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{7,p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -13.708$$

$$\Delta\delta_{8,p2} := \Delta\delta_{7,p2} + a_{8,p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.286 + -13.708 \cdot 0.05^2 = -0.32$$

$$\delta_{8,p2} := \delta_{7,p2} + \Delta\delta_{8,p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.179 + -0.32 = -0.141$$

$$t=0.4-0.45 \text{ c}$$

$$a_{9,p2} := \frac{(P_0 \cdot 0.3 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{8,p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 37.964$$

$$\Delta\delta_{9,p2} := \Delta\delta_{8,p2} + a_{9,p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.32 + 37.964 \cdot 0.05^2 = -0.225$$

$$\delta_{9,p2} := \delta_{8,p2} + \Delta\delta_{9,p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.141 + -0.225 = -0.366$$

$$t=0.45-0.5 \text{ c}$$

$$a_{10,p2} := \frac{(P_0 \cdot 0.3 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{9,p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 73.756$$

$$\Delta\delta_{10,p2} := \Delta\delta_{9,p2} + a_{10,p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.225 + 73.756 \cdot 0.05^2 = -0.041$$

Продолжение приложения А

$$\delta_{10.p2} := \delta_{9.p2} + \Delta\delta_{10.p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.382 + -0.041 = -0.423$$

$$t=0.5-0.55 \text{ с}$$

$$a_{11.p2} := \frac{(P_0 \cdot 0.32 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{10.p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 80.801$$

$$\Delta\delta_{11.p2} := \Delta\delta_{10.p2} + a_{11.p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.041 + 80.801 \cdot 0.05^2 = 0.161$$

$$\delta_{11.p2} := \delta_{10.p2} + \Delta\delta_{11.p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.423 + 0.161 = -0.262$$

$$t=0.55-0.6 \text{ с}$$

$$a_{12.p2} := \frac{(P_0 \cdot 0.36 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{11.p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 57.362$$

$$\Delta\delta_{12.p2} := \Delta\delta_{11.p2} + a_{12.p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.161 + 57.362 \cdot 0.05^2 = 0.304$$

$$\delta_{12.p2} := \delta_{11.p2} + \Delta\delta_{12.p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.262 + 0.304 = 0.042$$

$$t=0.6-0.65 \text{ с}$$

$$a_{13.p2} := \frac{(P_0 \cdot 0.41 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{12.p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 9.6$$

$$\Delta\delta_{13.p2} := \Delta\delta_{12.p2} + a_{13.p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.304 + 9.6 \cdot 0.05^2 = 0.328$$

$$\delta_{13.p2} := \delta_{12.p2} + \Delta\delta_{13.p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.042 + 0.328 = 0.37$$

$$t=0.65-0.7 \text{ с}$$

$$a_{14.p2} := \frac{(P_0 \cdot 0.48 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{13.p2})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -46.098$$

Продолжение приложения А

$$\Delta\delta_{14,p2} := \Delta\delta_{13,p2} + a_{14,p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.328 + -46.098 \cdot 0.05^2 = 0.213$$

$$\delta_{14,p2} := \delta_{13,p2} + \Delta\delta_{14,p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.37 + 0.213 = 0.583$$

$$t=0.7-0.75 \text{ c}$$

$$a_{15,p2} := \frac{(P_0 \cdot 0.54 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{14,p2})) \cdot w_0}{T_{j\Gamma}} = -69.257$$

$$\Delta\delta_{15,p2} := \Delta\delta_{14,p2} + a_{15,p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.213 + -69.257 \cdot 0.05^2 = 0.04$$

$$\delta_{15,p2} := \delta_{14,p2} + \Delta\delta_{15,p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.583 + 0.04 = 0.623$$

$$t=0.75-0.8 \text{ c}$$

$$a_{16,p2} := \frac{(P_0 \cdot 0.6 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{15,p2})) \cdot w_0}{T_{j\Gamma}} = -72.284$$

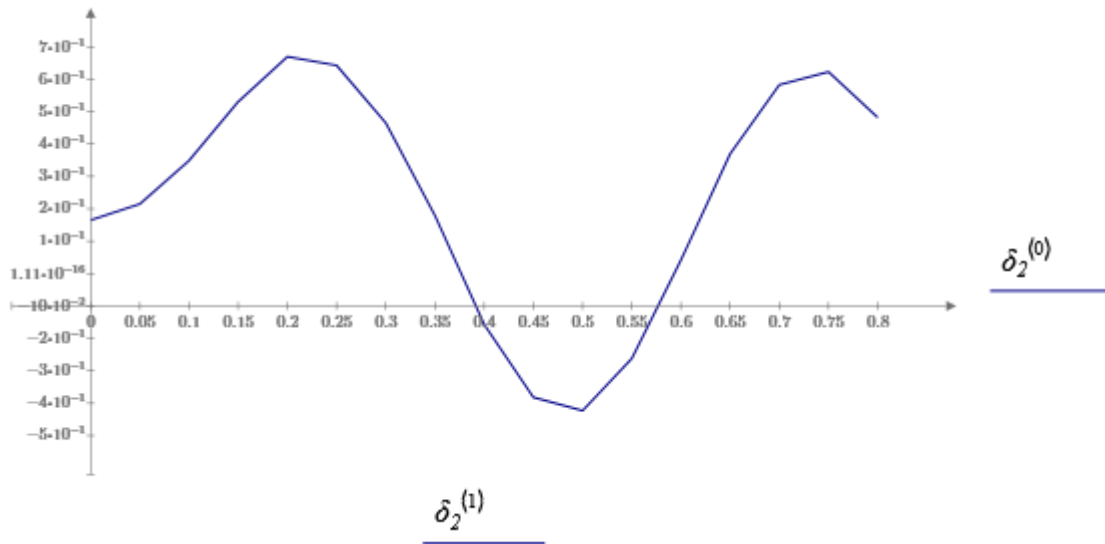
$$\Delta\delta_{16,p2} := \Delta\delta_{15,p2} + a_{16,p2} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.04 + -72.284 \cdot 0.05^2 = -0.141$$

$$\delta_{16,p2} := \delta_{15,p2} + \Delta\delta_{16,p2} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.623 + -0.141 = 0.482$$

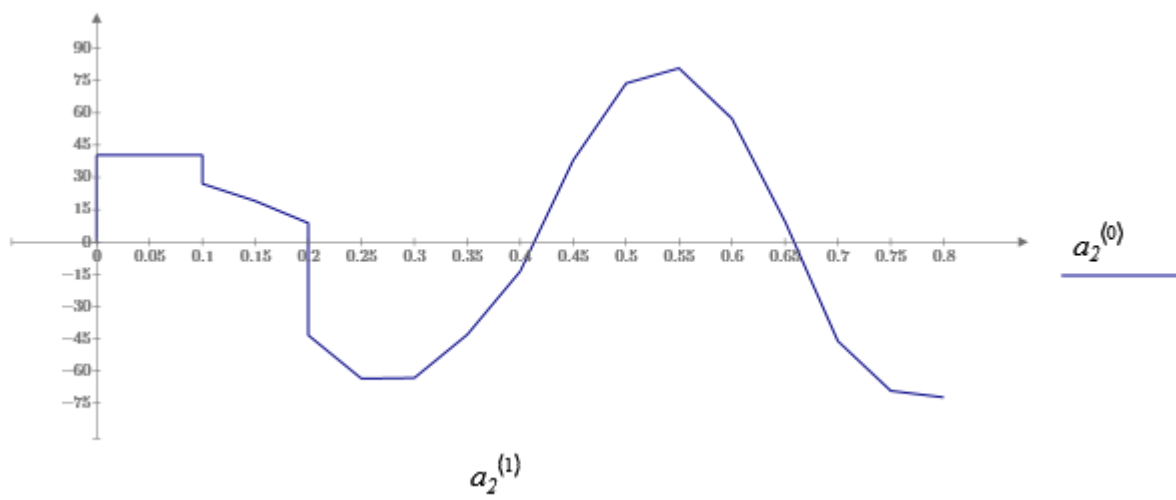
Продолжение приложения А

$$\delta_2 := \begin{bmatrix} \delta_{0,K} & 0 \\ \delta_{1,p2} & 0.05 \\ \delta_{2,p2} & 0.1 \\ \delta_{3,p2} & 0.15 \\ \delta_{4,p2} & 0.2 \\ \delta_{5,p2} & 0.25 \\ \delta_{6,p2} & 0.3 \\ \delta_{7,p2} & 0.35 \\ \delta_{8,p2} & 0.4 \\ \delta_{9,p2} & 0.45 \\ \delta_{10,p2} & 0.5 \\ \delta_{11,p2} & 0.55 \\ \delta_{12,p2} & 0.6 \\ \delta_{13,p2} & 0.65 \\ \delta_{14,p2} & 0.7 \\ \delta_{15,p2} & 0.75 \\ \delta_{16,p2} & 0.8 \end{bmatrix}$$

$$a_2 := \begin{bmatrix} a_0 & 0 \\ a_{1,p2} & 0 \\ a_{1,p2} & 0.05 \\ a_{2.1,p2} & 0.1 \\ a_{2.2,p2} & 0.1 \\ a_{3,p2} & 0.15 \\ a_{4.1,p2} & 0.2 \\ a_{4.2,p2} & 0.2 \\ a_{5,p2} & 0.25 \\ a_{6,p2} & 0.3 \\ a_{7,p2} & 0.35 \\ a_{8,p2} & 0.4 \\ a_{9,p2} & 0.45 \\ a_{10,p2} & 0.5 \\ a_{11,p2} & 0.55 \\ a_{12,p2} & 0.6 \\ a_{13,p2} & 0.65 \\ a_{14,p2} & 0.7 \\ a_{15,p2} & 0.75 \\ a_{16,p2} & 0.8 \end{bmatrix}$$



Продолжение приложения А



Третий вариант ИТР:

$t=0-0.05$ с

Ускорение в начале первого интервала:

$$a_{1.p3} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{asl.K} \cdot \sin(\delta_{0.K})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 40.352$$

Приращение угла δ за первый интервал:

$$\Delta\delta_{1.p3} := \frac{\Delta t^2}{2} \cdot a_{1.p3} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{0.05^2}{2} \cdot 40.352 = 0.05$$

Угол к концу первого интервала:

$$\delta_{1.p3} := \delta_{0.K} + \Delta\delta_{1.p3} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.165 + 0.05 = 0.215$$

$t=0.05-0.1$ с (Откл Q2)

Ускорение в начале 2-го интервала:

$$a_{2.1.p3} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{asl.K} \cdot \sin(\delta_{1.p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 40.352$$

Продолжение приложения А

$$a_{2.2.p3} := \frac{(P_0 \cdot 1 - P_{as2.K} \cdot \sin(\delta_{1.p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 27.051$$

$$a_{2.p3} := \frac{a_{2.1.p3} + a_{2.2.p3}}{2} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{40.352 + 27.051}{2} = 33.702$$

Приращение угла δ за 2-й интервал:

$$\Delta\delta_{2.p3} := \Delta\delta_{1.p3} + a_{2.p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.05 + 33.702 \cdot 0.05^2 = 0.134$$

Угол к концу 2-го интервала :

$$\delta_{2.p3} := \delta_{1.p3} + \Delta\delta_{2.p3} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.215 + 0.134 = 0.349$$

t=0.1-0.15 с

$$a_{3.p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.91 - P_{as2.K} \cdot \sin(\delta_{2.p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 15.401$$

$$\Delta\delta_{3.p3} := \Delta\delta_{2.p3} + a_{3.p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.134 + 15.401 \cdot 0.05^2 = 0.173$$

$$\delta_{3.p3} := \delta_{2.p3} + \Delta\delta_{3.p3} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.349 + 0.173 = 0.522$$

t=0.15-0.2 с (Откл Q1)

Ускорение в начале 4-го интервала:

$$a_{4.1.p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.78 - P_{as2.K} \cdot \sin(\delta_{3.p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 0.388$$

$$a_{4.2.p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.78 - P_{na.K} \cdot \sin(\delta_{3.p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -50.987$$

$$a_{4.p3} := \frac{a_{4.1.p3} + a_{4.2.p3}}{2} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{0.388 + -50.987}{2} = -25.3$$

Продолжение приложения А

$$\Delta\delta_{4,p3} := \Delta\delta_{3,p3} + a_{4,p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.173 + -25.3 \cdot 0.05^2 = 0.11$$

$$\delta_{4,p3} := \delta_{3,p3} + \Delta\delta_{4,p3} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.522 + 0.11 = 0.632$$

t=0.2-0.25 c

$$a_{5,p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.6 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{4,p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -73.489$$

$$\Delta\delta_{5,p3} := \Delta\delta_{4,p3} + a_{5,p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.11 + -73.489 \cdot 0.05^2 = -0.074$$

$$\delta_{5,p3} := \delta_{4,p3} + \Delta\delta_{5,p3} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.632 + -0.074 = 0.558$$

t=0.25-0.3 c

$$a_{6,p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.44 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{5,p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -69.813$$

$$\Delta\delta_{6,p3} := \Delta\delta_{5,p3} + a_{6,p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.074 + -69.813 \cdot 0.05^2 = -0.249$$

$$\delta_{6,p3} := \delta_{5,p3} + \Delta\delta_{6,p3} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.558 + -0.249 = 0.309$$

t=0.3-0.35 c

$$a_{7,p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.29 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{6,p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -38.591$$

$$\Delta\delta_{7,p3} := \Delta\delta_{6,p3} + a_{7,p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.249 + -38.591 \cdot 0.05^2 = -0.345$$

$$\delta_{7,p3} := \delta_{6,p3} + \Delta\delta_{7,p3} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.309 + -0.345 = -0.036$$

Продолжение приложения А

$$t=0.35-0.4 \text{ c}$$

$$a_{8,p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.24 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{7,p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 15.637$$

$$\Delta\delta_{8,p3} := \Delta\delta_{7,p3} + a_{8,p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} -0.345 + 15.637 \cdot 0.05^2 = -0.306$$

$$\delta_{8,p3} := \delta_{7,p3} + \Delta\delta_{8,p3} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} -0.036 + -0.306 = -0.342$$

$$t=0.4-0.45 \text{ c}$$

$$a_{9,p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.38 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{8,p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 70.798$$

$$\Delta\delta_{9,p3} := \Delta\delta_{8,p3} + a_{9,p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} -0.306 + 70.798 \cdot 0.05^2 = -0.129$$

$$\delta_{9,p3} := \delta_{8,p3} + \Delta\delta_{9,p3} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} -0.342 + -0.129 = -0.471$$

$$t=0.45-0.5 \text{ c}$$

$$a_{10,p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.51 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{9,p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 95.626$$

$$\Delta\delta_{10,p3} := \Delta\delta_{9,p3} + a_{10,p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} -0.129 + 95.626 \cdot 0.05^2 = 0.11$$

$$\delta_{10,p3} := \delta_{9,p3} + \Delta\delta_{10,p3} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} -0.471 + 0.11 = -0.361$$

$$t=0.5-0.55 \text{ c}$$

$$a_{11,p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.62 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{10,p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 83.432$$

$$\Delta\delta_{11,p3} := \Delta\delta_{10,p3} + a_{11,p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} 0.11 + 83.432 \cdot 0.05^2 = 0.319$$

Продолжение приложения А

$$\delta_{11,p3} := \delta_{10,p3} + \Delta\delta_{11,p3} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.361 + 0.319 = -0.042$$

$$t=0.55-0.6 \text{ c}$$

$$a_{12,p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.72 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{11,p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = 35.997$$

$$\Delta\delta_{12,p3} := \Delta\delta_{11,p3} + a_{12,p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.319 + 35.997 \cdot 0.05^2 = 0.409$$

$$\delta_{12,p3} := \delta_{11,p3} + \Delta\delta_{12,p3} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.042 + 0.409 = 0.367$$

$$t=0.6-0.65 \text{ c}$$

$$a_{13,p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.8 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{12,p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -27.06$$

$$\Delta\delta_{13,p3} := \Delta\delta_{12,p3} + a_{13,p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.409 + -27.06 \cdot 0.05^2 = 0.341$$

$$\delta_{13,p3} := \delta_{12,p3} + \Delta\delta_{13,p3} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.367 + 0.341 = 0.708$$

$$t=0.65-0.7 \text{ c}$$

$$a_{14,p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.84 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{13,p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -73.654$$

$$\Delta\delta_{14,p3} := \Delta\delta_{13,p3} + a_{14,p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.341 + -73.654 \cdot 0.05^2 = 0.157$$

$$\delta_{14,p3} := \delta_{13,p3} + \Delta\delta_{14,p3} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.708 + 0.157 = 0.865$$

$$t=0.7-0.75 \text{ c}$$

$$a_{15,p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.92 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{14,p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -88.747$$

Продолжение приложения А

$$\Delta\delta_{15,p3} := \Delta\delta_{14,p3} + a_{15,p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.157 + -88.747 \cdot 0.05^2 = -0.065$$

$$\delta_{15,p3} := \delta_{14,p3} + \Delta\delta_{15,p3} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.865 + -0.065 = 0.8$$

t=0.75-0.8 с

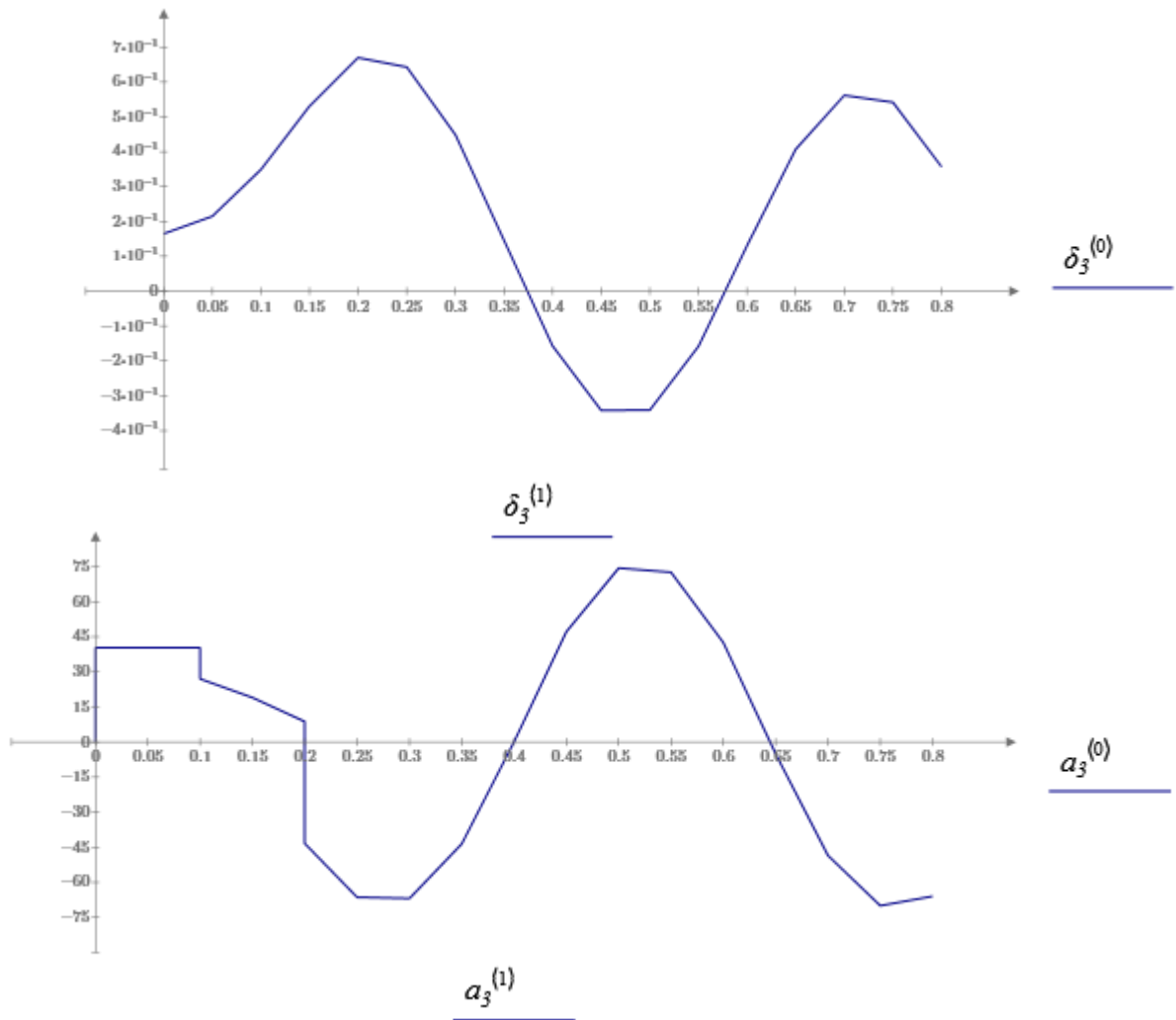
$$a_{16,p3} := \frac{(P_0 \cdot 0.98 - P_{n.a.K} \cdot \sin(\delta_{15,p3})) \cdot w_0}{T_{j\Sigma}} = -79.092$$

$$\Delta\delta_{16,p3} := \Delta\delta_{15,p3} + a_{16,p3} \cdot \Delta t^2 \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} -0.065 + -79.092 \cdot 0.05^2 = -0.263$$

$$\delta_{16,p3} := \delta_{15,p3} + \Delta\delta_{16,p3} \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} 0.8 + -0.263 = 0.537$$

$$\delta_3 := \begin{bmatrix} \delta_{0,K} & 0 \\ \delta_{1,p} & 0.05 \\ \delta_{2,p} & 0.1 \\ \delta_{3,p} & 0.15 \\ \delta_{4,p} & 0.2 \\ \delta_{5,p} & 0.25 \\ \delta_{6,p} & 0.3 \\ \delta_{7,p} & 0.35 \\ \delta_{8,p} & 0.4 \\ \delta_{9,p} & 0.45 \\ \delta_{10,p} & 0.5 \\ \delta_{11,p} & 0.55 \\ \delta_{12,p} & 0.6 \\ \delta_{13,p} & 0.65 \\ \delta_{14,p} & 0.7 \\ \delta_{15,p} & 0.75 \\ \delta_{16,p} & 0.8 \end{bmatrix} \quad a_3 := \begin{bmatrix} a_0 & 0 \\ a_{1,p} & 0 \\ a_{1,p} & 0.05 \\ a_{2,1,p} & 0.1 \\ a_{2,2,p} & 0.1 \\ a_{3,p} & 0.15 \\ a_{4,1,p} & 0.2 \\ a_{4,2,p} & 0.2 \\ a_{5,p} & 0.25 \\ a_{6,p} & 0.3 \\ a_{7,p} & 0.35 \\ a_{8,p} & 0.4 \\ a_{9,p} & 0.45 \\ a_{10,p} & 0.5 \\ a_{11,p} & 0.55 \\ a_{12,p} & 0.6 \\ a_{13,p} & 0.65 \\ a_{14,p} & 0.7 \\ a_{15,p} & 0.75 \\ a_{16,p} & 0.8 \end{bmatrix}$$

Продолжение приложения А



Расчёт токов КЗ

$$I_E := \frac{S_\delta}{\sqrt{3} \cdot U_\delta} \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{130}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0.682$$

$$I_3 := \frac{E_{\text{эке}}}{X_{\text{Н.Р.}}} \cdot I_E \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{1}{0.126} \cdot 0.682 = 5.413$$

$$I_2 := \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_3 \xrightarrow[\text{explicit}]{\text{ALL}} \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5.413 = 4.688$$

Продолжение приложения А

$$x_{экс1} := x_{экс123456} \cdot 3 + X_{Гэкс.1} + X'_{Гэкс.1} = 0.14$$

$$I_1 := \frac{3 \cdot E_{экс}}{2 \cdot X_{H.P.} + x_{экс1}} \cdot I_B \xrightarrow[\text{ALL}]{\text{explicit}} \frac{3}{2 \cdot 0.126 + 0.14} \cdot 0.682 = 5.219$$

Приложение Б

Расчёт выдачи мощности Благовещенская ТЭЦ - ПС Благовещенская

Линия 1 БТЭЦ - ПС Кооперативная - ПС Чигири - ПС Благовещенская

$$X_{1.1} := 0.4 \quad X_{1.2} := 1.6 \quad X_{1.3} := 2$$

$$S_{1ПС.К} := 6.3 \quad S_{1ПС.Ч} := 40 \quad k_{заг} := 0.7$$

$$S_{1Тр.К} := S_{1ПС.К} \cdot k_{заг} = 4.41$$

$$S_{1Тр.Ч} := S_{1ПС.Ч} \cdot k_{заг} = 28$$

$$S_{1ПС.К'} := S_{1Тр.К} \cdot \frac{X_{1.2}}{X_{1.1} + X_{1.2}} = 3.528 \quad S_{1ПС.К''} := S_{1Тр.К} \cdot \frac{X_{1.1}}{X_{1.1} + X_{1.2}} = 0.882$$

$$S_{1ПС.Ч'} := S_{1Тр.Ч} \cdot \frac{X_{1.3}}{X_{1.2} + X_{1.3}} = 15.556 \quad S_{1ПС.Ч''} := S_{1Тр.Ч} \cdot \frac{X_{1.2}}{X_{1.2} + X_{1.3}} = 12.444$$

Линия 2 БТЭЦ - ПС Кооперативная - ПС Чигири - ПС Благовещенская

$$X_{2.1} := 0.4 \quad X_{2.2} := 1.6 \quad X_{2.3} := 2$$

$$S_{2ПС.К} := 6.3 \quad S_{2ПС.Ч} := 40$$

$$S_{2Тр.К} := S_{2ПС.К} \cdot k_{заг} = 4.41$$

$$S_{2Тр.Ч} := S_{2ПС.Ч} \cdot k_{заг} = 28$$

$$S_{2ПС.К'} := S_{2Тр.К} \cdot \frac{X_{1.2}}{X_{1.1} + X_{1.2}} = 3.528 \quad S_{2ПС.К''} := S_{2Тр.К} \cdot \frac{X_{1.1}}{X_{1.1} + X_{1.2}} = 0.882$$

$$S_{2ПС.Ч'} := S_{2Тр.Ч} \cdot \frac{X_{1.3}}{X_{1.2} + X_{1.3}} = 15.556 \quad S_{2ПС.Ч''} := S_{2Тр.Ч} \cdot \frac{X_{1.2}}{X_{1.2} + X_{1.3}} = 12.444$$

Линия 3 БТЭЦ - ПС Новая - ПС Сетевая - ПС Центральная - ПС Кирпичная - ПС Благовещенская

$$X_{3.1} := 0.8 \quad X_{3.2} := 1.4 \quad X_{3.3} := 1.2 \quad X_{3.4} := 2.6 \quad X_{3.5} := 0.4$$

$$S_{3ПС.Н} := 25 \quad S_{3ПС.С} := 40 \quad S_{3ПС.Ц} := 25 \quad S_{3ПС.К} := 16$$

$$S_{3Тр.Н} := S_{3ПС.Н} \cdot k_{заг} = 17.5 \quad S_{3Тр.Ц} := S_{3ПС.Ц} \cdot k_{заг} = 17.5$$

$$S_{3Тр.С} := S_{3ПС.С} \cdot k_{заг} = 28 \quad S_{3Тр.К} := S_{3ПС.К} \cdot k_{заг} = 11.2$$

Продолжение приложения Б

$$S_{3ПС.Н'} := S_{3Тр.Н} \cdot \frac{X_{3.2}}{X_{3.1} + X_{3.2}} = 11.136$$

$$S_{3ПС.Н''} := S_{3Тр.Н} \cdot \frac{X_{3.1}}{X_{3.1} + X_{3.2}} = 6.364$$

$$S_{3ПС.С'} := (S_{3Тр.С} + S_{3ПС.Н'}) \cdot \frac{X_{3.3}}{X_{3.2} + X_{3.3}} = 15.86$$

$$S_{3ПС.С''} := (S_{3Тр.С} + S_{3ПС.Н''}) \cdot \frac{X_{3.2}}{X_{3.2} + X_{3.3}} = 18.503$$

$$S_{3ПС.Ц'} := (S_{3Тр.Ц} + S_{3ПС.С'}) \cdot \frac{X_{3.4}}{X_{3.3} + X_{3.4}} = 24.634$$

$$S_{3ПС.Ц''} := (S_{3Тр.Ц} + S_{3ПС.С''}) \cdot \frac{X_{3.3}}{X_{3.3} + X_{3.4}} = 11.37$$

$$S_{3ПС.К'} := (S_{3Тр.К} + S_{3ПС.Ц'}) \cdot \frac{X_{3.5}}{X_{3.4} + X_{3.5}} = 3.009$$

$$S_{3ПС.К''} := (S_{3Тр.К} + S_{3ПС.Ц''}) \cdot \frac{X_{3.4}}{X_{3.4} + X_{3.5}} = 19.56$$

Линия 4 БТЭЦ - ПС Новая - ПС Сетевая - ПС Центральная - ПС Северная - ПС Кирпичная - ПС Благовещенская

$$X_{4.1} := 0.8 \quad X_{4.2} := 1.4 \quad X_{4.3} := 1.2 \quad X_{4.4} := 1.2 \quad X_{4.5} := 1.8 \quad X_{4.6} := 0.4$$

$$S_{4ПС.Н} := 40 \quad S_{4ПС.С} := 40 \quad S_{4ПС.Ц} := 25 \quad S_{4ПС.Св} := 25 \quad S_{4ПС.К} := 16$$

$$S_{4Тр.Н} := S_{4ПС.Н} \cdot k_{заз} = 28 \quad S_{4Тр.Ц} := S_{4ПС.Ц} \cdot k_{заз} = 17.5$$

$$S_{4Тр.К} := S_{4ПС.К} \cdot k_{заз} = 11.2$$

$$S_{4Тр.С} := S_{4ПС.С} \cdot k_{заз} = 28 \quad S_{4Тр.Св} := S_{4ПС.Св} \cdot k_{заз} = 17.5$$

$$S_{4ПС.Н'} := S_{4Тр.Н} \cdot \frac{X_{4.2}}{X_{4.1} + X_{4.2}} = 17.818 \quad S_{4ПС.Н''} := S_{4Тр.Н} \cdot \frac{X_{4.1}}{X_{4.1} + X_{4.2}} = 10.182$$

$$S_{4ПС.С'} := (S_{4Тр.С} + S_{4ПС.Н'}) \cdot \frac{X_{4.3}}{X_{4.2} + X_{4.3}} = 17.622$$

Продолжение приложения Б

$$S_{4ПC.C''} := (S_{4Гp.C} + S_{4ПC.H''}) \cdot \frac{X_{4.2}}{X_{4.2} + X_{4.3}} = 20.559$$

$$S_{4ПC.Ц'} := (S_{4Гp.Ц} + S_{4ПC.C''}) \cdot \frac{X_{4.4}}{X_{4.3} + X_{4.4}} = 19.03$$

$$S_{4ПC.Ц''} := (S_{4Гp.Ц} + S_{4ПC.C''}) \cdot \frac{X_{4.3}}{X_{4.3} + X_{4.4}} = 19.03$$

$$S_{4ПC.Ce'} := (S_{4Гp.Ce} + S_{4ПC.Ц''}) \cdot \frac{X_{4.5}}{X_{4.4} + X_{4.5}} = 21.918$$

$$S_{4ПC.Ce''} := (S_{4Гp.Ce} + S_{4ПC.Ц''}) \cdot \frac{X_{4.4}}{X_{4.4} + X_{4.5}} = 14.612$$

$$S_{4ПC.K'} := (S_{4Гp.K} + S_{4ПC.Ce''}) \cdot \frac{X_{4.6}}{X_{4.5} + X_{4.6}} = 4.693$$

$$S_{4ПC.K''} := (S_{4Гp.K} + S_{4ПC.Ce''}) \cdot \frac{X_{4.5}}{X_{4.5} + X_{4.6}} = 21.119$$

Линия 5 БТЭЦ - ПС Западная - ПС Портовая - ПС Металлист - ПС Центральная - ПС Кирпичная - ПС Благовещенская

$$X_{5.1} := 0.8 \quad X_{5.2} := 1.8 \quad X_{5.3} := 2.2 \quad X_{5.4} := 2.6 \quad X_{5.5} := 0.4$$

$$S_{5ПC.3} := 40 \quad S_{5ПC.П} := 16 \quad S_{5ПC.Ц} := 25 \quad S_{5ПC.K} := 16$$

$$S_{5Гp.3} := S_{5ПC.3} \cdot k_{3ae} = 28 \quad S_{5Гp.Ц} := S_{5ПC.Ц} \cdot k_{3ae} = 17.5$$

$$S_{5Гp.K} := S_{5ПC.K} \cdot k_{3ae} = 11.2 \quad S_{5Гp.П} := S_{5ПC.П} \cdot k_{3ae} = 11.2$$

$$S_{5ПC.3'} := S_{5Гp.3} \cdot \frac{X_{5.2}}{X_{5.1} + X_{5.2}} = 19.385$$

$$S_{5ПC.3''} := S_{5Гp.3} \cdot \frac{X_{5.1}}{X_{5.1} + X_{5.2}} = 8.615$$

$$S_{5ПC.П'} := (S_{5Гp.П} + S_{5ПC.3'}) \cdot \frac{X_{5.3}}{X_{5.2} + X_{5.3}} = 10.898$$

$$S_{5ПC.П''} := (S_{5Гp.Ц} + S_{5ПC.3''}) \cdot \frac{X_{5.2}}{X_{5.2} + X_{5.3}} = 11.752$$

Продолжение приложения Б

$$S_{5ПС.Ц'} := (S_{5Тр.Ц} + S_{5ПС.П''}) \cdot \frac{X_{5.4}}{X_{5.3} + X_{5.4}} = 15.845$$

$$S_{5ПС.Ц''} := (S_{5Тр.Ц} + S_{5ПС.П''}) \cdot \frac{X_{5.3}}{X_{5.3} + X_{5.4}} = 13.407$$

$$S_{5ПС.К'} := (S_{5Тр.К} + S_{5ПС.Ц''}) \cdot \frac{X_{5.5}}{X_{5.4} + X_{5.5}} = 3.281$$

$$S_{5ПС.К''} := (S_{5Тр.К} + S_{5ПС.Ц''}) \cdot \frac{X_{5.4}}{X_{5.4} + X_{5.5}} = 21.326$$

Линия 6 БТЭЦ - ПС Западная - ПС Деловой Центр - ПС Портовая -
ПС Металлист - ПС Центральная - ПС Северная - ПС Кирпичная -
ПС Благовещенская

$$X_{6.1} := 0.8 \quad X_{6.2} := 1.4 \quad X_{6.3} := 0.4 \quad X_{6.4} := 2.2 \quad X_{6.5} := 1.2 \quad X_{6.6} := 1.8 \quad X_{6.7} := 0.4$$

$$S_{6ПС.3} := 40 \quad S_{6ПС.ДЦ} := 50 \quad S_{6ПС.П} := 16 \quad S_{6ПС.Ц} := 25 \quad S_{6ПС.Се} := 25 \quad S_{6ПС.К} := 16$$

$$S_{6Тр.3} := S_{6ПС.3} \cdot k_{заг} = 28 \quad S_{6Тр.П} := S_{6ПС.П} \cdot k_{заг} = 11.2$$

$$S_{6Тр.ДЦ} := S_{6ПС.ДЦ} \cdot k_{заг} = 35 \quad S_{6Тр.Се} := S_{6ПС.Се} \cdot k_{заг} = 17.5$$

$$S_{6Тр.Ц} := S_{6ПС.Ц} \cdot k_{заг} = 17.5 \quad S_{6Тр.К} := S_{6ПС.К} \cdot k_{заг} = 11.2$$

$$S_{6ПС.3'} := S_{6Тр.3} \cdot \frac{X_{6.2}}{X_{6.1} + X_{6.2}} = 17.818$$

$$S_{6ПС.3''} := S_{6Тр.3} \cdot \frac{X_{6.1}}{X_{6.1} + X_{6.2}} = 10.182$$

$$S_{6ПС.ДЦ'} := (S_{6Тр.ДЦ} + S_{6ПС.3''}) \cdot \frac{X_{6.3}}{X_{6.2} + X_{6.3}} = 10.04$$

$$S_{6ПС.ДЦ''} := (S_{6Тр.ДЦ} + S_{6ПС.3''}) \cdot \frac{X_{6.2}}{X_{6.2} + X_{6.3}} = 35.141$$

$$S_{6ПС.П'} := (S_{6Тр.П} + S_{6ПС.ДЦ''}) \cdot \frac{X_{6.4}}{X_{6.3} + X_{6.4}} = 39.212$$

$$S_{6ПС.П''} := (S_{6Тр.П} + S_{6ПС.ДЦ''}) \cdot \frac{X_{6.3}}{X_{6.3} + X_{6.4}} = 7.129$$

Продолжение приложения Б

$$S_{6ПС.Ц'} := (S_{6Тр.Ц} + S_{6ПС.ДЦ''}) \cdot \frac{X_{6.5}}{X_{6.4} + X_{6.5}} = 18.579$$

$$S_{6ПС.Ц''} := (S_{6Тр.Ц} + S_{6ПС.ДЦ''}) \cdot \frac{X_{6.4}}{X_{6.4} + X_{6.5}} = 34.062$$

$$S_{6ПС.Сe'} := (S_{6Тр.Сe} + S_{6ПС.Ц''}) \cdot \frac{X_{6.6}}{X_{6.5} + X_{6.6}} = 30.937$$

$$S_{6ПС.Сe''} := (S_{6Тр.Сe} + S_{6ПС.Ц'}) \cdot \frac{X_{6.5}}{X_{6.5} + X_{6.6}} = 20.625$$

$$S_{6ПС.К'} := (S_{6Тр.К} + S_{6ПС.Сe''}) \cdot \frac{X_{6.7}}{X_{6.6} + X_{6.7}} = 5.786$$

$$S_{6ПС.К''} := (S_{6Тр.К} + S_{6ПС.Сe'}) \cdot \frac{X_{6.6}}{X_{6.6} + X_{6.7}} = 26.039$$

Итоговая мощносит Благовещенская ТЭЦ - ПС Благовещенская

$$S_{БТЭЦ} := S_{1ПС.К'} + S_{1ПС.Ч'} + S_{2ПС.К'} + S_{2ПС.Ч'} + S_{3ПС.Н'} + S_{3ПС.С'} + S_{3ПС.Ц'} + \\ + S_{3ПС.К'} + S_{4ПС.Н'} + S_{4ПС.С'} + S_{4ПС.Ц'} + S_{4ПС.Сe'} + S_{4ПС.К'} + S_{5ПС.З'} + S_{5ПС.Л'} + \\ + S_{5ПС.Ц'} + S_{5ПС.К'} + S_{6ПС.З'} + S_{6ПС.ДЦ''} + S_{6ПС.Л'} + S_{6ПС.Ц'} + S_{6ПС.Сe'} + S_{6ПС.К'}$$

$$S_{БТЭЦ} := 345.67$$

$$S_{ПС.Благ} := S_{1ПС.К''} + S_{1ПС.Ч''} + S_{2ПС.К''} + S_{2ПС.Ч''} + S_{3ПС.Н''} + S_{3ПС.С''} + S_{3ПС.Ц''} + \\ + S_{3ПС.К''} + S_{4ПС.Н''} + S_{4ПС.С''} + S_{4ПС.Ц''} + S_{4ПС.Сe''} + S_{4ПС.К''} + S_{5ПС.З''} + S_{5ПС.Л''} + \\ + S_{5ПС.Ц''} + S_{5ПС.К''} + S_{6ПС.З''} + S_{6ПС.ДЦ''} + S_{6ПС.Л''} + S_{6ПС.Ц''} + S_{6ПС.Сe''} + S_{6ПС.К''}$$

$$S_{ПС.Благ} := 356.23$$

Кэффицент спроса для городов варьируется от 1 до 0,3 поэтому
возмём среднее знчение: $k_{СП} := 0.65 \quad \cos\varphi := 0.8$

$$\Delta S_{БТЭЦ} := S_{БТЭЦ} \cdot k_{СП} \cdot \cos\varphi = 179.748 \quad \Delta S_{Благ} := S_{ПС.Благ} \cdot k_{СП} \cdot \cos\varphi = 185.24$$

Исходя из напряжения и мощности эвивалентной нагрузки (шины
БТЭЦ и ПС Благовещенская) определим эквивалентное
сопротивление этих нагрузок:

Продолжение приложения Б

$$x_{\text{экв}123456} := 0.007i \quad X'_{\text{Гэкв.1}} := 0.09i \quad X_{\text{Гэкв.1}} := 0.029i \quad X_{\text{Гэкв.2}} := 0.057i \sin\varphi := 0.6$$

$$S_6 := 130 \quad U_6 := 110$$

$$X_{\text{БГЭЦ.Экв}} := \frac{110^2}{\Delta S_{\text{БГЭЦ}}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{110^2}{179.748} = 67.316$$

$$X_{\text{ПС.Благ.Экв}} := \frac{110^2}{\Delta S_{\text{Благ}}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} \frac{110^2}{185.24} = 65.321$$

$$Z_{\text{БГЭЦ}} := X_{\text{БГЭЦ.Экв}} \cdot \cos\varphi + 1i (X_{\text{БГЭЦ.Экв}} \cdot \sin\varphi) = 53.853 + 40.39i$$

$$Z_{\text{ПС.Благ}} := X_{\text{ПС.Благ.Экв}} \cdot \cos\varphi + 1i (X_{\text{ПС.Благ.Экв}} \cdot \sin\varphi) = 52.257 + 39.192i$$

$$k_{\text{БАЗ}} := \frac{S_6}{U_6^2} = 0.0107$$

$$Z_{\text{БГЭЦ.Баз}} := Z_{\text{БГЭЦ}} \cdot k_{\text{БАЗ}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} (53.853 + 40.39i) \cdot 0.0107 = 0.576 + 0.432i$$

$$Z_{\text{Благ.Баз}} := Z_{\text{ПС.Благ}} \cdot k_{\text{БАЗ}} \xrightarrow{\text{explicit ALL}} (52.257 + 39.192i) \cdot 0.0107 = 0.559 + 0.419i$$

Преобразование из треугольника в звезду

Находим Z1

$$\begin{aligned} \frac{x_{\text{экв}123456} \cdot Z_{\text{БГЭЦ.Баз}}}{Z_{\text{БГЭЦ.Баз}} + x_{\text{экв}123456} + Z_{\text{Благ.Баз}}} &= \frac{0.007i \cdot (0.576 + 0.432i)}{0.576 + 0.432i + 0.007i + 0.559 + 0.419i} = \\ &= \frac{-0.003024 + 0.004032i}{1.135 + 0.858i} = \frac{(-0.003024 + 0.004032i) \cdot (1.135 - 0.858i)}{1.135^2 + 0.858^2} = \\ &= \frac{0.0000273 + 0.0071709i}{2.024} = 0.000013488 + 0.003542935i \end{aligned}$$

Продолжение приложения Б

Находим Z_2

$$\begin{aligned} \frac{x_{\text{экв}123456} \cdot Z_{\text{Благ.Баз}}}{Z_{\text{БТЭЦ.Баз}} + x_{\text{экв}123456} + Z_{\text{Благ.Баз}}} &= \frac{0.007i \cdot (0.587 + 0.441i) \cdot (1.135 - 0.858i)}{2.024} = \\ &= \frac{-0.003087 + 0.004109i \cdot (1.135 - 0.858i)}{2.024} = \\ &= \frac{0.0000218 + 0.0073123i}{2.024} = 0.000010771 + 0.003612796i \end{aligned}$$

Находим Z_3

$$\begin{aligned} \frac{Z_{\text{БТЭЦ.Баз}} \cdot Z_{\text{Благ.Баз}}}{Z_{\text{БТЭЦ.Баз}} + x_{\text{экв}123456} + Z_{\text{Благ.Баз}}} &= \\ &= \frac{(0.576 + 0.432i) \cdot (0.587 + 0.441i) \cdot (1.135 - 0.858i)}{2.024} = \\ &= \frac{0.6211152 + 0.4623984i}{2.159} = 0.288 + 0.214i \end{aligned}$$

Находим суммарное сопротивление

$$X_{\Sigma 1} := X'_{\text{Гэкв.1}} + X_{\text{Гэкв.1}} + Z_1 = 0.003542935i + 0.09i + 0.029i = 0.1225429i$$

$$X_{\Sigma 2} := X_{\text{Гэкв.2}} + Z_1 = 0.003612796i + 0.057i = 0.0606128i$$

Т.к. действительная часть стремится к нулю, в дальнейшем расчёте можем ею пренебречь

Преобразование из звезды в треугольник

$$\begin{aligned} X_{\Sigma 1} + X_{\Sigma 2} + \frac{X_{\Sigma 1} \cdot X_{\Sigma 2}}{Z_3} &= 0.1225429i + 0.0606128i + \\ + \frac{0.1225429i \cdot 0.0606128i}{0.288 + 0.214i} &= 0.1831557i - \frac{0.00743 \cdot (0.288 - 0.214i)}{0.288^2 + 0.214^2} = \\ &= 0.1831557i - \frac{0.0021398 - 0.00159i}{0.129} = \\ &= 0.1831557i - 0.0165876 + 0.0123256i = -0.016588 + 0.195481i \end{aligned}$$

Продолжение приложения Б

$$X_{H.P.} := 0.195 \quad E'_q := 2.655 \quad U_C := 1$$

$$P_{MAX} := \frac{E'_q \cdot U_C}{X_{H.P.}} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \frac{2.655}{0.195} = 13.615$$

$$P_{\Sigma} := \Delta S_{БГЭЦ} + \Delta S_{Б.л.э.э.} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} 179.748 + 185.24 = 364.988$$

$$P_B := \frac{P_{\Sigma}}{S_6} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \frac{364.988}{130} = 2.808$$

$$k_{зан} := \frac{P_{MAX} - P_B}{P_{MAX}} \xrightarrow[\text{explicit}]{ALL} \frac{13.615384615384613 - 2.8076}{13.615384615384613} = 0.794$$