

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

Факультет: энергетический

Кафедра: энергетики

Направление подготовки 13.04.02 - Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль) программы «Электроэнергетические системы и сети»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. зав. кафедрой



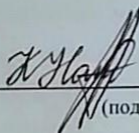
Н.В. Савина

« 07 » 06 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему: Исследование качества электроэнергии в электрических сетях с тяговой нагрузкой на участке электрической сети ПС Амурская – ПС Завитая

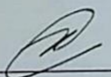
Исполнитель
студент группы 642 ом



04.06.2018
(подпись, дата)

Н.А. Килина

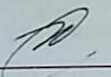
Руководитель
профессор, доктор
технических наук



04.06.2018
(подпись, дата)

Н.В. Савина

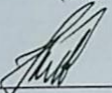
Руководитель научного
содержания программы
магистратуры
профессор, доктор
технических наук



04.06.2018
(подпись, дата)

Н.В. Савина

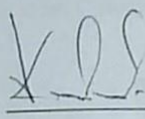
Нормоконтроль
доцент, кандидат
технических наук



04.06.2018
(подпись, дата)

А.Н. Козлов

Рецензент



07.06.2018
(подпись, дата)

А.А. Косицкий

Благовещенск 2018

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

Факультет энергетический
Кафедра энергетики

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. зав. кафедрой

 Н.В. Савина

« 21 » 03 2018 г.

ЗАДАНИЕ

К магистерской диссертации студента Килиной Натальи Анатольевны

1. Тема магистерской диссертации: Исследование качества электроэнергии в электрических сетях с тяговой нагрузкой на участке электрической сети ПС Амурская – ПС Завитая

2. Срок сдачи студентом законченной диссертации 04.06.2018г. (утверждено приказом от 27.10.2017 № 2657/у)

3. Исходные данные к магистерской диссертации: материалы преддипломной практики

4. Содержание магистерской диссертации (перечень подлежащих разработке вопросов):

Характеристика современного состояния проблемы качества электроэнергии. Расчет показателей качества электроэнергии. Выбор технических средств для улучшения показателей качества электроэнергии. Оценка инвестиционной привлекательности мероприятий

5. Перечень материалов приложения: Приложение А Расчет коэффициентов гармонических составляющих напряжения; Приложение В Расчет коэффициента несимметрии; Приложение Д Расчет потерь и выбор технического средства; Приложение Е Расчет нагрузочной способности участка сети.

6. Консультанты по диссертации (с указанием относящихся к ним разделов):

7. Дата выдачи задания 21.03.2018

Руководитель магистерской диссертации: Савина Наталья Викторовна, д.т.н., профессор.

Задание принял к исполнению (дата): 21.03.2018


(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 108 с., 29 рисунков, 23 таблицы, 79 формул, 6 приложений, 83 источника.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ, ПОДСТАНЦИЯ, КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ТЯГОВАЯ НАГРУЗКА, НЕССИНУСОИДАЛЬНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ, НЕСИММЕТРИЯ НАПРЯЖЕНИЯ, ОТКЛОНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ, НАДЁЖНОСТЬ, ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, РЕЖИМ РАБОТЫ, СРОК ОКУПАЕМОСТИ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА, УЩЕРБ, УСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ.

Магистерская диссертация посвящена исследованию качества электроэнергии на участке сети с тяговой нагрузкой.

В данной магистерской диссертации проанализирован участок электрической сети ПС Амурская – ПС Завитая с тяговой нагрузкой.

Определены параметры и рассчитан установившийся максимальный режим.

Рассчитаны и проанализированы показатели качества электроэнергии на рассматриваемом участке электрической сети. Предложены мероприятия по повышению качества электрической сети для рассматриваемого участка электрической сети. Рассчитаны и проанализированы показатели качества электроэнергии на рассматриваемом участке электрической сети после применения мероприятий по повышению качества электроэнергии.

Рассчитаны потери в электрической сети, обусловленные низким качеством электроэнергии. Рассчитан ущерб от перерыва электроснабжения.

Определен объем необходимых затрат на реализацию мероприятий по повышению качества электроэнергии.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

- ВГ – высшие гармоники;
- ВЛ – воздушная линия;
- ГЭС – гидроэлектростанция;
- КЭ – качество электроэнергии;
- ЛЭП – линия электропередачи;
- ПВК – программно-вычислительный комплекс;
- ПКЭ – показатели качества электроэнергии;
- ПС – подстанция;
- РЖД – Российские железные дороги;
- РГРЭС – Райчихинская Государственная районная электростанция;
- РПН – регулирование под нагрузкой;
- РУ – распределительное устройство;
- СРФ – силовой резонансный фильтр;
- СТ – силовой трансформатор;
- СУ – симметрирующие устройства;
- ТПЭ – точка передачи электроэнергии;
- УКРМ - устройств компенсации реактивной мощности;
- ФКУ – фильтро-компенсирующее устройство;
- ЧДД – чистый дисконтированный доход;
- ЭЭС – электроэнергетические системы.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Характеристика современного состояния проблемы качества электрической энергии	9
1.1 Источники искажения качества электрической энергии	9
1.2 Влияние качества электрической энергии на функционирование электрических сетей	12
1.3 Организация контроля и измерения показателей качества электрической энергии	20
1.4 Характеристика методов расчётов показателей качества электрической энергии	23
1.4.1 Определение ПКЭ, характеризующих несинусоидальность напряжения	23
1.4.2 Определение отклонений напряжения	26
1.4.3 Определение коэффициентов несимметрии напряжения по обратной последовательности	26
1.5 Способы улучшения качества электрической энергии	28
1.5.1 Схемные решения для улучшения качества электроэнергии	28
1.5.2 Технические средства для улучшения качества электроэнергии	29
1.6 Структурный анализ участка электрической сети	35
1.6.1 Анализ источников питания	38
1.6.2 Структурный анализ электрических сетей	40
1.7 Анализ схемно-режимной ситуации участка электрической сети	42
1.7.1 Выбор и характеристика ПВК для расчета режима	42
1.7.2 Расчет и анализ нормального установившегося режима	44
2 Расчёт показателей качества электроэнергии на рассматриваемом участке сети	54
2.1 Расчёт коэффициентов гармонических составляющих напряжений существующего участка сети	54

2.2	Расчёт коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности на рассматриваемом участке сети	73
2.3	Выбор технических средств для улучшения качества электрической энергии	79
2.4	Расчёт коэффициентов гармонических составляющих напряжений участка сети с фильтром	82
3	Влияние низкого качества электрической энергии на потери и надёжность	84
3.3	Расчёт потерь в сети, обусловленных низким качеством электроэнергии	84
3.4	Расчет надежности электроснабжения рассматриваемого участка сети	87
4	Оценка инвестиционной привлекательности предложенных мероприятий	94
	Заключение	100
	Библиографический список	101
	Приложение А Расчёт коэффициентов гармонических составляющих напряжений существующего участка сети в программе Mathcad	108
	Приложение Б Расчёт коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности в программе Mathcad	156
	Приложение В Расчёт и выбор технического средства на ПС Амурская и ПС Завитая в программе Mathcad	162
	Приложение Г Расчёт коэффициентов гармонических составляющих напряжений участка существующей сети с ФКУ в программе Mathcad	163
	Приложение Д Расчёт потерь в сети, обусловленных низким качеством электроэнергии в программе Mathcad	211
	Приложение Е Расчёт надёжности участка сети в программе Mathcad	213

ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергия, как и любой другой товар, должна обладать определенным качеством, чтобы соответствовать требованиям рынка. Низкое качество электроэнергии (КЭ) приводит к значительному ущербу на всех уровнях электроэнергетической системы - от генерации до потребления. Ярким примером сетей с множественными искажающими нагрузками являются системы электроснабжения железных дорог.

В Амурской области 22 тяговых подстанций: 21 ПС напряжением 220кВ и одна ПС напряжением 110кВ. Тяговая нагрузка от электрифицированных железных дорог отрицательно влияет на качество электрической энергии. Тяговая нагрузка влияет на работу энергосистемы. В момент разгона, движения с постоянной скоростью и торможения резко изменяются параметры, такие как напряжение и ток. График изменения нагрузки в данном случае носит скачкообразный характер. Также, на тяговых подстанциях постоянного тока используются выпрямители и инверторы. Они в своей составе имеют тиристоры, приборы, генерирующие гармоники, которые отрицательно воздействуют на работу других электроприборов.

Помимо электрифицированного транспорта, зачастую от тяговой подстанции питаются и обычные потребители, находящиеся вблизи данной подстанции. В итоге получается, что от одной фазы, например, питается электрифицированный транспорт. От двух других – бытовое население, имеющее более пологий график электрических нагрузок. В данном случае возникает несимметрия, т.е. неодинаковая загрузка фаз. Несимметрия приводит к дополнительным потерям мощности и энергии, потерям напряжения в сети, что ухудшает режим и технико-экономические показатели ее работы [1].

В соответствие с темой магистерской работы объектом исследования является рассматриваемый участок электрической сети с тяговой нагрузкой ПС Амурская – ПС Завитая, который включает в себя 4 тяговых подстанции:

ПС М.Чесноковская/т, ПС Белогорск/т, ПС Короли/т и ПС Завитая/т. Предметом исследования – качество электроэнергии рассматриваемого участка.

Выбор темы исследования обусловлен необходимостью изучения влияния тягой нагрузки на качество электрической энергии. Ухудшение качества электроэнергии ведёт к дополнительным потерям, снижению надёжности электроснабжения, сокращению срока службы оборудования. Поэтому выбранная тема является актуальной.

Цель данной магистерской диссертации – определение и анализ показателей качества электроэнергии на участке сети ПС Амурская – ПС Завитая, исследовать, как качество электроэнергии влияет на надёжность и функционирование электрических сетей с тяговой нагрузкой.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- ✓ провести структурный анализ участка электрической сети ПС Амурская – ПС Завитая;
- ✓ провести анализ нормального установившегося режима работы сети;
- ✓ провести расчёт и анализ показателей качества электрической энергии и оценку надёжности электроснабжения рассматриваемого участка сети;
- ✓ предложить мероприятия по повышению качества электрической сети для рассматриваемого участка электрической сети;
- ✓ оценить инвестиционную привлекательность предложенных мероприятий.

При написании данной магистерской диссертации использовались следующие лицензионные программные обеспечения: Microsoft Office Word, Microsoft Office Visio, Microsoft Office Excel, Mathcad Education – University Edition, ПВК RastrWin 3.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

1.1 Источники искажения качества электрической энергии

Как правило, к электроэнергетическим сетям подключаются различные группы потребителей энергии. Часть из них – это потребители, которые вносят в электрическую сеть электромагнитные помехи в виде: провалов напряжения, колебаний напряжения, переходных процессов, гармоник и т.д. Типичным источником помех является электрическая тяга.

Электрическая тяга оказывает своё влияние на такие показатели качества электрической энергии как:

- отклонение напряжения,
- несимметрия напряжения,
- колебания напряжения,
- нессинусоидальность напряжения.

Отклонения напряжения от номинальных значений происходят из-за

- суточных, сезонных и технологических изменений электрической нагрузки потребителей;
- изменения мощности компенсирующих устройств;
- регулирования напряжения генераторами электростанций и на подстанциях энергосистем;
- изменения схемы и параметров электрических сетей.

Для отклонения напряжения установлены следующие нормы:

- положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10 % номинального или согласованного значения напряжения в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Несимметрия напряжения – это несимметрия трёхфазной системы напряжений. Характеризуется коэффициентом обратной и нулевой последовательности. Несимметрия напряжений происходит только в

трёхфазной сети под воздействием неравномерного распределения нагрузок по её фазам.

Тяговые подстанции электрифицированного на переменном токе железнодорожного транспорта являются мощным источником несимметрии, так как электровагоны — однофазные электроприемники.

Эффективность системы тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ при питании тяговой сети от трёхфазных трёх обмоточных трансформаторов с вторичным напряжением 27,5 кВ, с группой соединения высоковольтной и тяговой обмоток по схеме «звезда – треугольник» при многих положительных качествах обладает и рядом специфических особенностей [81].

К таким особенностям относится несимметричный режим работы трёхфазных трёх обмоточных трансформаторов при двухплечевой тяговой нагрузке. Загрузка трансформатора производится по двум плечам (двум фазам), тяговый трансформатор работает в несимметричном режиме, из-за чего уровень напряжения на одной фазе ниже, чем на другой при одинаковых токовых нагрузках в плечах питания тяговой подстанции. Фаза, в которой напряжение ниже называется отстающей, а в которой выше опережающей, разница напряжений между ними может достигать 1,5-2 кВ и более. Кроме этого, нагрузка по плечам питания тяговой подстанции неравномерная, может изменяться от нуля до номинальной мощности тягового трансформатора, в зависимости от количества, массы поездов и профиля пути. В результате система тягового электроснабжения испытывает значительные пиковые нагрузки. Однофазные тяговые нагрузки в трёхфазной питающей сети создают несимметрию токов и напряжений [25].

Колебания напряжения это быстро изменяющиеся отклонения напряжения длительностью до нескольких секунд. Колебания напряжения происходят из-за резкого изменения нагрузки, сопровождающимися толчками активной и реактивной нагрузки.

Если при торможении тяговые электродвигатели переводятся в генераторный режим и вырабатываемая электрическая энергия постоянного тока преобразуется в электрическую энергию переменного тока инвертором электровоза и передаётся в контактную сеть для полезного использования другими потребителями, то такое торможение называется рекуперативным.

Так как в Амурской области большое количество источников генерации, ЭЭС Амурской области не нуждается в дополнительных источниках генерации, поэтому тяга переменного тока работает без рекуперации. Поэтому колебания напряжения в данной работе можно не рассматривать.

Одним из показателей качества электрической энергии является степень отклонения формы напряжения от формы синусоиды. Основной причиной искажения формы напряжения в тяговой сети является работа силовых преобразователей электровозов. Наибольшие искажения формы напряжения в тяговой сети наблюдаются при работе электровозов с тиристорными выпрямительно-инверторными преобразователями, которые в последнее время получают все большее распространение на полигоне железных дорог России [15].

Практически все электровозы переменного тока, используемые на российских железных дорогах, имеют тяговые двигатели постоянного тока. Основными устройствами, которые используются для преобразования энергии на тяговых подстанциях, являются выпрямители, которые для электрической сети представляют собой нелинейную нагрузку. Работа, применяемых на локомотивах выпрямителей, вызывает искажение напряжения и тока в тяговой сети. В связи с этим при работе таких электровозов снижаются показатели качества электрической энергии в тяговой сети. Сетевой ток таких нагрузок несинусоидален, что является причиной искажения напряжения. Тяговая нагрузка требует питания от энергосистемы с большой мощностью короткого замыкания. Тяговые нагрузки питаются часто от подстанций с высшим напряжением. От шин

среднего напряжения тяговых подстанций питаются также и другие потребители. Они получают электроэнергию более низкого качества, особенно это относится к искажению напряжения и появлению высших гармоник. Это приводит к снижению эффективности, как электровоза, так и системы электрической тяги в целом [52].

Физическая сущность искажения синусоидальности переменного напряжения заключается в возникновении режима короткого замыкания цепи переменного тока (обмоток трансформатора) в интервалы коммутации токов вентилей выпрямителя электровоза в режиме тяги или инвертора в режиме рекуперативного торможения, в результате которого на этих интервалах происходит провал в кривой синусоидального напряжения. Эти провалы искажают форму кривой напряжения и приводят к возникновению высших гармонических составляющих, наибольшими из которых являются нечетные 3-я, 5-я и 7-я гармоники.

Степень искажения синусоидальности напряжения контактной сети 27,5 кВ системы тягового электроснабжения магистральных железных дорог, электрифицированных на переменном однофазном токе, является значительной и требует проведения исследований и разработок по ее уменьшению как со стороны электровозов, так и системы электроснабжения [12].

1.2 Влияние качества электрической энергии на функционирование электрических сетей

Т.к. тяга переменного тока оказывает воздействие на многие показатели качества электроэнергии целесообразно рассмотреть как качество электроэнергии влияет на функционирование электрических сетей.

Низкие показатели качества электрической энергии ведет к снижению надежности и эффективности функционирования электрической сети. Кроме того, электротяга переменного тока оказывает вредное воздействие на смежные устройства и коммуникации.

В данной работе рассматриваем электрические сети в целом, в том числе потребителей электроэнергии. В зависимости от выполняемых функций, возможностей обеспечения схемы питания от энергосистемы, величины и режимов потребления электроэнергии и мощности, особенностей правил пользования электроэнергией потребителей электроэнергии делить на следующие основные группы:

- промышленные и приравненные к ним;
- производственные сельскохозяйственные;
- бытовые;
- общественно-коммунальные [22].

Существенную часть в потреблении электроэнергии составляют потери в сетях. Характерный для электроэнергетических систем примерный состав нагрузки, %, приведен ниже:

- асинхронные двигатели 50%
- синхронные двигатели 9%
- освещение и бытовая нагрузка 22%
- выпрямители, инверторы, печи 11%
- потери в сетях 8%

Для наглядности состав потребителей электроэнергии представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Состав потребителей электроэнергии

Рассмотрим, как низкое качество электроэнергии влияет на работу электроприёмников и электрических сетей [55].

1. Медленное изменение напряжения.

Показателями КЭ, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются отрицательное $\delta U_{(-)}$ и положительное $\delta U_{(+)}$ отклонения напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии от номинального / согласованного значения, % .

Для указанных выше показателей КЭ установлены следующие нормы: положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10 % номинального или согласованного значения напряжения в течение 100 % времени интервала в одну неделю [10].

Рассмотрим влияние отклонения напряжения на примере наиболее распространенных элементов систем электроснабжения.

Асинхронные двигатели.

При отклонениях напряжения на зажимах асинхронного двигателя изменяются частота вращения ротора, значения потерь активной мощности и потребляемой реактивной мощности. Это приводит к изменению экономических показателей, характеризующих работу двигателя.

Потери активной мощности в полностью загруженных двигателях возрастают при снижении напряжения вследствие увеличения тока, потребляемого из сети; при повышении напряжения эти потери соответственно уменьшаются. При малых нагрузках двигателя характер зависимости меняется, т.е. увеличение напряжения приводит к росту потерь.

Отклонение напряжения приводит к изменению потребляемой реактивной мощности. Например, для двигателей серии А мощностью 20 – 100 кВт в диапазоне допустимых отклонений напряжения изменение напряжения на 1 % влечет за собой изменение потребляемой реактивной мощности на 3 %.

При положительных отклонениях напряжения усиливается электромагнитная связь между полями статора и ротора, что приводит к увеличению частоты вращения ротора. Для механизмов с вентиляторным моментом сопротивления, пропорциональным квадрату частоты вращения, изменение частоты сопровождается изменением производительности

При положительных отклонениях напряжения срок службы изоляции, определенный при номинальном напряжении, T_n , изменяется обратно пропорционально квадрату коэффициента загрузки, $k_{загр}$. Очевидно, что при $k_{загр}$ меньшем единицы тепловой износ изоляции уменьшается. При отрицательных отклонениях срок службы изоляции сокращается. Таким образом, экономичная работа асинхронных двигателей целиком зависит от уровня напряжения на его зажимах [32].

Синхронные двигатели.

Максимальный электрический момент двигателя при постоянном токе возбуждения изменяется пропорционально напряжению. Это вызывает соответствующее изменение запаса статической устойчивости двигателя. При наличии отклонений напряжения в сети также изменяется генерируемая двигателем реактивная мощность. Чем выше напряжение, тем ниже реактивная мощность для синхронных двигателей с высокими значениями ОКЗ (1,25 и более) и малым коэффициентом загрузки. Для двигателей с ОКЗ меньшим 1,25 снижение напряжения вызывает уменьшение генерируемой им реактивной мощности. Потери активной мощности в синхронном двигателе возрастают с увеличением напряжения в сети и его загрузки по реактивной мощности [55].

Вентильные преобразователи.

В современном производстве применяются управляемые вентильные преобразователи, коммутируемые в основном по трехфазной мостовой схеме. В ряде технологических процессов (например, электролиз) требуется обеспечить постоянство выпрямленного тока, которое можно получить с помощью системы автоматического регулирования преобразователей.

Соблюдение этого требования при отклонениях напряжения сети приводит к изменению коэффициента мощности преобразователя. Повышение напряжения приводит к уменьшению коэффициента мощности и повышенному потреблению реактивной мощности. При поддержании постоянства выпрямленного тока влияние отклонений напряжения на технологический процесс не обнаруживается. Если же преобразователи неуправляемые, то отклонение напряжения приводит к снижению производительности и повышению расхода электроэнергии [55].

Электротермические установки (дуговые сталеплавильные печи, рудно-термические печи, индукционные плавильные печи, печи сопротивления и т.д.).

Отклонение напряжения, как правило, приводит к снижению производительности печей и увеличению расхода электроэнергии.

Осветительные установки.

Качество работы осветительных установок существенно влияет на производственный процесс. Так, увеличение освещенности рабочего места на 10 % приводит к увеличению производительности труда на 14 %. Но при повышении напряжения срок службы ламп сокращается. Например, при отклонении напряжения равном 10 %, срок службы ламп накаливания сокращается в 3 раза.

Краткая характеристика влияния отклонения напряжения на электроустановки приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние отклонений напряжения на электроустановки

Тип ЭП или электроустановки	Изменяемый показатель или параметр
1	2
Асинхронный двигатель	<ul style="list-style-type: none"> - частота вращения ротора, - потери активной мощности, - потребляемая реактивная мощность, - срок службы изоляции, - экономические показатели, характеризующие работу двигателя.

1	2
Синхронный двигатель	- генерируемая реактивная мощность, - потери активной мощности, - запас статической устойчивости.
Выпрямительные установки	- коэффициент мощности преобразователя, - потребляемая реактивная мощность, - производительность механизмов, - расход электроэнергии.
Электротермические установки	- производительность, - расход электроэнергии
Осветительные установки	- производительность, - срок службы ламп.

2. Несимметрия напряжения

Показателями КЭ, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах, являются коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{U2} и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{U0} .

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{U2} и несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{U0} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2 % в течение 95 % времени интервала в одну неделю;

- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{U2} и несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{U0} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю [10].

При несимметрии напряжения в трехфазных сетях появляются дополнительные потери в их элементах, сокращается срок службы ламп и оборудования, снижаются экономические показатели его работы.

При несимметрии напряжения в электрических машинах переменного тока возникают магнитные поля, вращающиеся не только с синхронной

скоростью в направлении вращения ротора, но и с двойной синхронной скоростью в противоположном направлении. В результате возникает дополнительный нагрев активных частей машин, главным образом – ротора, а, следовательно, сокращение срока службы изоляции. В синхронных машинах это приводит к снижению тока возбуждения, чтобы снизить местный нагрев обмотки, а, следовательно, и к снижению генерируемой реактивной мощности.

Несимметрия напряжения не оказывает заметного влияния на работу линий электропередачи, но оказывает существенное влияние на нагрев силовых трансформаторов и сокращение срока их службы.

Так, например, при номинальной нагрузке силового трансформатора и коэффициенте несимметрии напряжения по обратной последовательности равном 0,1 срок службы изоляции сокращается на 16 % [55].

При несимметрии напряжения изменяется генерируемая реактивная мощность батарей конденсаторов, а также за счет местных перегревов у них снижается срок службы изоляции.

В таблице 2 приведено краткое описание влияния несимметрии напряжения на системы электроснабжения и электрические сети.

Таблица 2 – Влияние несимметрии напряжения на системы электроснабжения и электрические сети

Тип ЭП или элемента сети	Изменяемый показатель или параметр
Элементы электрической сети	- потери активной мощности; - срок службы изоляции; - технико-экономические показатели.
Синхронные машины	- генерируемая реактивная мощность; - нагрев активных частей машины; - срок службы изоляции; - технико-экономические показатели.
Компенсирющие установки	- генерируемая реактивная мощность; - срок службы изоляции.
Асинхронные двигатели	- потери электроэнергии; - потребляемая реактивная мощность; - срок службы изоляции.

3. Несинусоидальность напряжения

Несинусоидальность напряжения характеризуют гармонические составляющие напряжения согласно ГОСТ 32144-2013.

Показателями КЭ, относящимися к гармоническим составляющим напряжения являются:

- значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40го порядка $K_{U(n)}$ в процентах напряжения основной гармонической составляющей U_1 в точке передачи электрической энергии;

- значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (отношения среднеквадратического значения суммы всех гармонических составляющих до 40го порядка к среднеквадратическому значению основной составляющей) K_U , % в точке передачи электрической энергии [10].

Высшие гармоники напряжения и тока неблагоприятно влияют на электрооборудование, системы автоматики, релейной защиты, телемеханики и связи:

✓ появляются дополнительные потери в электрических машинах, силовых трансформаторах и сетях;

✓ затрудняется компенсация реактивной мощности с помощью батарей конденсаторов, так как они вспучиваются и взрываются из-за перегрева токами высших гармоник;

✓ сокращается срок службы изоляции электрических машин и аппаратов; возрастает аварийность в кабельных сетях;

✓ появляются сбои в работе релейной защиты и автоматики, телемеханики и связи.

Высшие гармоники напряжения и тока также сказываются на значениях коэффициентов мощности и вращающего момента электродвигателей. Однако, снижение этих величин оказывается небольшим. Уровень дополнительных активных потерь от высших гармоник в сетях энергосистем и в сетях предприятий, электрифицированного

железнодорожного транспорта варьируется в зависимости от структуры электропотребления и может достигать 30-40% от потерь при синусоидальных токах и напряжениях. Наибольшему воздействию высших гармоник подвергаются батареи конденсаторов [34].

Краткое описание влияния несинусоидальности напряжений и токов на элементы ЭЭС приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние несинусоидальности напряжений и токов на элементы ЭЭС

Тип ЭП или элемента ЭЭС	Изменяемый показатель или параметр
Системы автоматики, релейной и микропроцессорной защиты, телемеханики и связи	- сбой в работе; - ложная работа; - выход из строя.
Электрооборудование и электрические аппараты, электрические машины, силовые трансформаторы, линии электропередачи	- потери электроэнергии; - технико-экономические показатели; - срок службы; - выход из строя.
Газоразрядные лампы	- погасание; - срок службы.
Компенсирующие устройства	- генерируемая реактивная мощность; - выход из строя; - потери электроэнергии.

Таким образом, анализ влияния качества энергии на системы электроснабжения показал важность его нормирования и поддержания в пределах, требуемых стандартом. Для того, чтобы избежать данные последствия необходимо проанализировать передовые разработки в области контроля, мониторинга и улучшения показателей качества электрической энергии.

1.3 Организация контроля и измерения показателей качества электрической энергии

Проанализировав влияние низкого качества электроэнергии на функционирование электрических сетей, приходим к выводу, что необходим мониторинг и контроль показателей качества электроэнергии для своевременного выявления узких мест сети. Для предотвращения или ограничения негативных последствий пониженного качества электроэнергии

необходимо, прежде всего, знать в какой точке сети наблюдается его искажение и уровень этого искажения. С этой целью проводят контроль качества электроэнергии.

В настоящее время контроль качества электрической энергии на предприятиях носит краткосрочный, периодический характер. В основном он осуществляется при проведении сертификационных, периодических и некоторых других видов испытаний в целях подтверждения соответствия обязательным требованиям. Результаты краткосрочных испытаний недостаточно полно и достоверно отражают положение в области качества электроэнергии [55].

Для непрерывного мониторинга контроля качества электрической энергии по некоторым ПКЭ требуется проведение длительных испытаний. Это относится, прежде всего, к параметрам провалов напряжения и параметрам временных перенапряжений. Накопление измерительной информации, характеризующей эти динамические процессы, и ее статистическая обработка должны проводиться в течение одного года. Только при соблюдении этого требования к продолжительности испытаний, полученные статистические характеристики могут использоваться для совершенствования договорных отношений между поставщиками и потребителями электроэнергии [15].

Краткосрочный и периодический характер испытаний и отсутствие при их проведении результатов измерений параметров, необходимых для анализа качества электроэнергии, существенно осложняют разработку организационно-технических мероприятий, направленных на улучшение качества электроэнергии и повышение показателей надежности электроснабжения, и не позволяют в полной мере достичь поставленной цели предприятия в области качества электроэнергии [52].

Для повышения достоверности и полноты результатов контроля качества электрической энергии, а также для повышения оперативности управления качеством электрической энергии контроль качества

электрической энергии должен проводиться непрерывно. При этом необходимо осуществлять постоянный мониторинг качества электрической энергии с помощью соответствующей автоматизированной информационно-измерительной системы контроля качества электроэнергии. Результатом работы такой системы должно быть получение измерительной информации, необходимой не только для определения соответствия электрической энергии обязательным требованиям (контроля качества электроэнергии), но и для выявления источников и причин ухудшения качества [80].

К основным задачам мониторинга ПКЭ относятся:

- обнаружение помех и их оценка;
- регистрация измеренных числовых характеристик в целях обработки и отображения результатов;
- оценка измеренных значений показателей качества электроэнергии на соответствие установленным требованиям;
- определение источника помех;
- проведение коммерческих расчетов между поставщиком и потребителем электроэнергии [12].

Общие требования, предъявляемые к системе мониторинга ПКЭ, являются обязательными по причине того, что определяют те условия, при которых эти системы должны нормально функционировать в рамках основной погрешности при обеспечении должного уровня безопасности от поражения электрическим током. Системы мониторинга ПКЭ должны в реальном масштабе времени обеспечивать непрерывное измерение ПКЭ и вспомогательных параметров электроэнергии, должны быть цифровыми программируемыми приборами, использующими высокоразрядные аналого-цифровые преобразователи и быстродействующие процессоры.

Точки контроля качества электрической энергии на высоковольтных трансформаторных подстанциях, подключенных к энергосистеме, должны располагаться на входных и выходных фидерах. Измерительная информация в точках контроля, расположенных на входных фидерах подстанций,

предназначена для контроля качества поступающей электроэнергии (входного контроля) и используется для организации взаимодействия с электросетевыми компаниями при управлении качеством электроэнергии [25].

К нормативным документам по измерению и контролю качества электроэнергии относятся:

ГОСТ 32145 - 2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»;

ГОСТ 30804.4.7 – 2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств»;

ГОСТ 30804.3.11 – 2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Колебания напряжения и фликер, вызываемые техническими средствами с потребляемым током не более 75 А (в одной фазе), подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения при определенных условиях. Нормы и методы испытаний».

1.4 Характеристика методов расчётов показателей качества электрической энергии

Так как в настоящее время, в соответствии с ГОСТом, контроль и мониторинг показателей качества электроэнергии не организован в должной мере, при периодическом мониторинге не можем увидеть тяжелые режимы, то целесообразно рассчитать показатели качества электроэнергии. Рассмотрим, как определить ПКЭ, характеризующие отклонение, несимметрию и несинусоидальность напряжения.

1.4.1 Определение ПКЭ, характеризующих несинусоидальность напряжения

Для расчета напряжений высших гармоник разрабатывается расчетная схема сети с указанием точек передачи электроэнергии или точек общего при

соединения, в которых необходимо проводить анализ качества электроэнергии. В качестве примера на рисунке 2 показана такая схема [55].

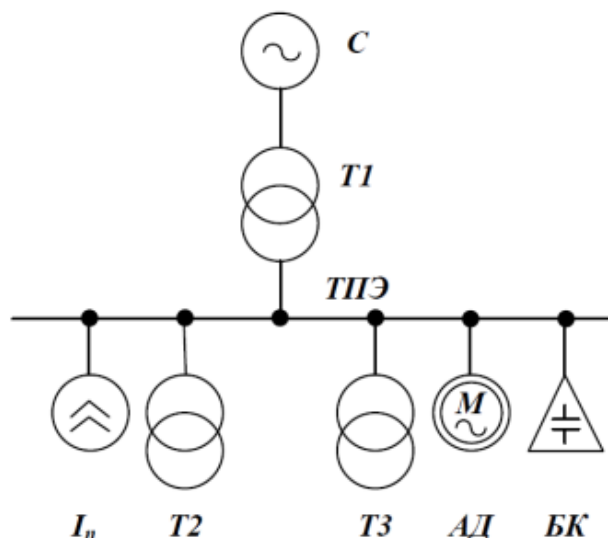


Рисунок 2 – Расчетная схема сети

По расчетной схеме сети составляется схема замещения для токов высших гармоник относительно расчетных точек. Нелинейные нагрузки в схеме замещения представляются в виде источников тока. Корректность такого подхода подтверждается тем, что задающие токи высших гармоник практически не меняются при изменении режима сети вплоть до возникновения резонанса на частоте какой-либо гармоники. В эту схему все элементы сети, включая систему, вводятся сопротивлениями высших гармоник, т.е. на частоте n . Например, для приведенной расчетной схемы сети, схема замещения выглядит следующим образом (см.рисунок 3) [55].

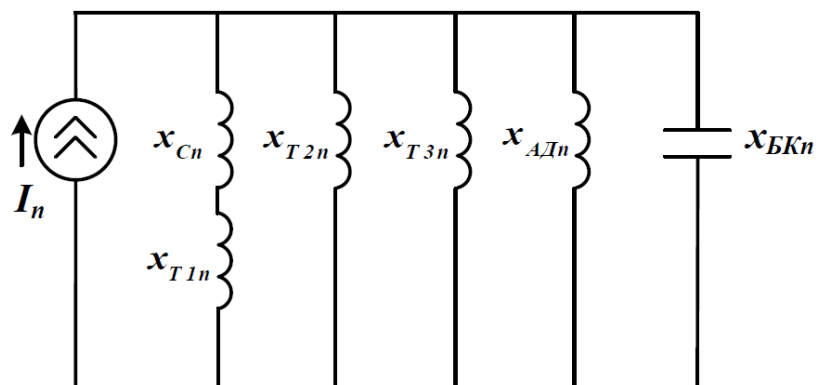


Рисунок 3 – Схема замещения для расчета несинусоидальности напряжения в ТПЭ

Определяются сопротивления элементов сети на частотах ВГ и рассчитываются токи высших гармоник.

Схема замещения приводится к виду, показанному на рисунке 4, путем последовательно-параллельного соединения, преобразования «треугольника» в «звезду» и т.д.

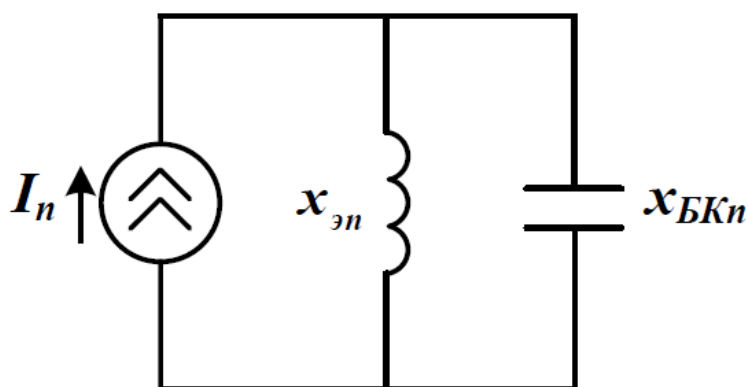


Рисунок 4 – Эквивалентная схема замещения

Определяется суммарное сопротивление сети на частотах ВГ, например

$$x_{\Sigma n} = \frac{x_{БК}x_{3n}}{x_{3n}^2 - x_{БК}} \quad (1)$$

Рассчитываются напряжения высших гармоник

$$U_n = x_{\Sigma n} I_n \quad (2)$$

Определяется суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2}}{U_1} 100, \% \quad (3)$$

где U_1 – основная гармоническая составляющая,

Коэффициент n -ой гармонической составляющей

$$K_{U(n)} = \frac{U_n}{U_1} 100, \% (4)$$

Полученные значения сравниваются с допустимыми, приведенными в ГОСТ 32144-2013[10].

Если необходимо определить напряжение высших гармоник в какой-либо ветви схемы, то пользуются коэффициентами токораспределения.

Например, в эквивалентной схеме, приведенной на рисунке 4, нужно найти напряжение ВГ в ветви с батареей конденсаторов. Для этого находится коэффициент токораспределения на частоте ВГ

$$k_n = \frac{x_{\text{экв}n}}{x_{\text{экв}n} - x_{\text{БК}n}} (5)$$

Определяется доля тока ВГ, протекающая через анализируемую ветвь

$$I_{\text{БК}n} = I_n k_n (6)$$

Рассчитывается напряжение ВГ

$$U_{\text{БК}n} = I_{\text{БК}n} x_{\text{БК}n} (7)$$

При необходимости определяются ПКЭ, характеризующие несинусоидальность напряжения по формулам (6) и (7)

1.4.2 Определение отклонений напряжения

В данной магистерской диссертации отклонение напряжения определяем с помощью ПК RastrWin3.

Алгоритм расчета:

1. Составляем схему замещения существующей сети и рассчитываем её параметры.

2. Запускаем программу ПК RastrWin3.

3. Вводим исходные данные.

4. Проводим расчет установившегося режима.
5. Открываем окно «Напряжения» и видим отклонение напряжения установившегося режима.

1.4.3 Определение коэффициентов несимметрии напряжения по обратной последовательности

Несимметрия напряжения возникает при существенно неодинаковой загрузке фаз. В качестве исходных данных могут использоваться значения нагрузки отдельных фаз сети. Остальные параметры сети, как правило, известны.

Расчет ведется как для точки передачи электроэнергии, так и для любой другой расчетной точки сети, шин подстанций, от которых непосредственно питается несимметричная нагрузка, на основе схем замещения обратной последовательности сети. Схема замещения для токов обратной последовательности аналогична схеме прямой последовательности. Все элементы схемы вводят своими сопротивлениями обратной последовательности. Несимметричная нагрузка представляется источником тока обратной последовательности [55].

Алгоритм расчета:

1. Составляем схему замещения сети для токов обратной последовательности. В эту схему все элементы сети, включая систему, вводятся своими сопротивлениями обратной последовательности.
2. Несимметричная нагрузка вводится в эту схему в виде тока обратной последовательности I_2 .
3. Определяется эквивалентное значение тока обратной последовательности I_2 при несимметричной нагрузке в зависимости от вида несимметрии напряжений и токов.
4. Определяется значение I_2 в ветвях схемы замещения I_{2S} , где S -ветвь схемы сети.
5. Определяется напряжение обратной последовательности U_{2S} в узлах схемы замещения как падение напряжения в примыкающих ветвях

$$U_{2s} = I_{2s}x_{2s} \quad (8)$$

6. Определяется коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности в ветвях схемы

$$K_{2U_s} = \frac{U_{2s}}{U_1} 100\% \quad (9)$$

7. Схема замещения эквивалентуется относительно точки передачи электроэнергии или ТОП и определяется эквивалентное сопротивление обратной последовательности сети $x_{2\bar{3}}$.

8. Рассчитывается напряжение обратной последовательности в ТПЭ

$$U_2 = I_2x_{2\bar{3}} \quad (10)$$

9. Определяется коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности.

1.5 Способы улучшения качества электрической энергии

Рассмотрев способы негативного влияния на качество электроэнергии, стоит упомянуть о специально разработанных устройствах и способах регулирования режимов работы энергосистемы с целью поддержания показателей качества энергии на необходимом уровне.

К таким способам относятся:

- схемные решения;
- специальные технические средства.

1.5.1 Схемные решения для улучшения качества электроэнергии

В таблице 4 приведены схемные решения, применяемы для ограничения колебаний напряжения, снижения нессинусоидальности и несимметрии напряжения.

Таблица 4 – Схемные решения для улучшения качества электроэнергии

Показатель качества электроэнергии	Схемное решение
Колебания напряжения	<ul style="list-style-type: none"> ○ подключение резкопеременных нагрузок к сетям более высокого номинального напряжения, например 35-220 кВ; ○ снижение реактивного сопротивления питающей сети; ○ разделение питания спокойных и резкопеременных нагрузок.
Несинусоидальность напряжения	<ul style="list-style-type: none"> ○ увеличение мощности КЗ на шинах источника ВГ; ○ раздельное питание линейных и нелинейных нагрузок; ○ увеличение числа фаз выпрямления ВП.
Несимметрия напряжения	<ul style="list-style-type: none"> ○ подключение однофазных ЭП к шинам с более высоким значением мощности К.З.; ○ рациональное распределение однофазных нагрузок ○ применение силовых трансформаторов 6 – 10 /0,4 кВ со схемой соединения обмоток $\Delta - Y0$ или $Y - Z$ (зигзаг) вместо $Y - Y0$ (лучше $Y - Z$).

1.5.2 Технические средства для улучшения качества электроэнергии

1. Ограничение колебаний напряжения

К техническим средствам относятся:

- синхронные компенсаторы (СК) и синхронные двигатели (СД);
- специальные синхронные компенсаторы (СКК);
- статистические источники реактивной мощности прямой или косвенной компенсации, например ТКРМ.

Синхронные компенсаторы и двигатели, генерируя в сеть реактивную мощность, обеспечивают в установившемся режиме увеличение $\cos\phi$ и уменьшение колебаний напряжения. Это объясняется наличием у них естественного регулирующего эффекта, который проявляется тем значительнее, чем круче фронт изменения реактивной мощности и напряжения на шинах, а также чем меньше нагрузка на валу синхронной машины [4].

Снижение колебаний напряжения за счет естественного регулирующего эффекта синхронного двигателя.

БСК главное их назначение уменьшение δU_i и обеспечение компенсации реактивной мощности. Кроме того, они снижают коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности. Простейший пример таких устройств – батарея конденсаторов, регулируемая тиристорами.

По сравнению с синхронными компенсаторами батареи конденсаторов, регулируемые тиристорным блоком, имеют следующие преимущества:

- более широкий диапазон регулирования;
- низкие эксплуатационные расходы и потери электроэнергии;
- большая скорость компенсации;
- возможность пофазного регулирования мощности БК.

Недостатки управляемых с помощью тиристорных батарей конденсаторов:

- недостаточное быстродействие;
- ступенчатый характер регулирования реактивной мощности.

По сравнению с БК, управляемыми тиристорами, СКУ обладают рядом преимуществ. Так, СКУ на основе тиристорно-реакторных групп:

обеспечивают ограничение скорости нарастания тока и его амплитудного значения, облегчая тем самым режим работы тиристорных;

симметрируют импульс тока относительно момента времени, соответствующего нулевому значению напряжения;

позволяют естественную коммутацию тока тиристорных;

Параметрические статические компенсаторы имеют:

- 1) малую инерционность;
- 2) меньшую величину генерируемых ВГ тока по сравнению с устройствами, использующими тиристорно-реакторные группы.

Независимо от мощности компенсатора полное устранение колебаний напряжения невозможно. Для большинства тиристорных компенсаторов коэффициент снижения колебаний напряжения не превышает 70%.

Схемы быстродействующих СКУ с тиристорно-реакторными группами являются источниками ВГ, поэтому используются совместно с силовыми резонансными фильтрами (СРФ) [32].

2. Снижение несинусоидальности напряжения

Для снижения несинусоидальности напряжения используют такие корректирующие устройства, как:

○ *Силовые резонансные фильтры (СРФ).*

Силовой резонансный фильтр состоит из последовательно соединенных реактора L и БК C. Каждый фильтр настраивается на частоту определенной ВГ таким образом, чтобы сопротивление реактора на частоте гармоники было равно сопротивлению БК

$$n\omega L = \frac{1}{n\omega C} \quad (11)$$

В сетях с шестифазными преобразователями устанавливаются СРФ пятой и седьмой гармоник, если при этом k_U превышает допустимое значение, то и СРФ 11 гармоник. В сетях с двенадцатифазными преобразователями – СРФ 11 гармоник, возможно и 13 гармоник.

Для фильтров используются однофазные конденсаторы с единичной мощностью 100-150 кВАр, которые собираются в группы и включаются в треугольник или звезду. Выбор способа включения определяется соотношением номинальных напряжений сети и БК.

Фильтры могут устанавливаться в сетях, где имеют место колебания напряжения до 10 % с частотой повторения до 100 раз в час и предусматриваются на частоты, преобладающие в амплитудных спектрах:

✓ в сетях с шести- и двенадцатифазными преобразователями – фильтры Ф5, Ф7, Ф11, Ф13 или Ф5 или Ф5 и Ф7 или Ф5 и Ф11;

✓ в сетях с двенадцатифазными преобразователями – фильтры Ф11 и Ф13 или Ф13;

✓ в сетях с ДСП, сварочными установками, газоразрядными лампами, электродуговыми печами – фильтры Ф3, Ф5, Ф 7 или Ф3 и Ф5 или Ф3 [34].

○ *Фильтросимметрирующие устройства (ФСУ).*

Наибольшее распространение получили силовые резонансные фильтры, которые одновременно предназначаются для компенсации реактивной мощности (КРМ) и снижения уровня ВГ.

ФСУ представляет собой несимметричный фильтр, который подключен на линейное напряжение сети. Выбор линейных напряжений, на которые включаются фильтрующие цепи ФСУ, и соотношения мощностей конденсаторов, включаемых в фазы фильтра, определяются условиями симметрирования напряжения.

○ *Ненастроенные фильтры (НФ).*

Возрастание удельного веса нелинейных нагрузок, имеющих низкий коэффициент мощности, привело к необходимости использования в составе ФКУ батарей конденсаторов весьма большой мощности ($k_p \geq 1.5 \cdot 10^{-2}$), что позволило уменьшить требования к точности настройки фильтров. Исследование ущербов от ВГ показало, что полное снижение ВГ не нужно, необходимо их понизить до требований ГОСТ 32144-2013. Очевидно, при таком подходе не требуется устанавливать большое число СРФ.

Применение ненастроенных фильтров предпочтительно с точки зрения его загрузки токами ВГ. При неточной настройке СРФ при их малой мощности возможны их перегрузки по току и даже выход из строя.

Ненастроенные фильтра могут состоять из одного фильтра n_p -той гармоники, либо выполняться на базе двух настроенных на частоты n_{p1} и n_{p2} . НФ может использоваться также в сочетании с отдельно стоящей БК [34].

○ *Комбинированные фильтры высших гармоник (КФВГ).*

Одной из трудностей применения СРФ является выполнения условия резонанса (11) при неизбежном технологическом разбросе параметров

оборудования фильтра, отклонениях значений под воздействием окружающей среды, времени и нагрузки. Поэтому в последние годы было предложено использовать комбинированные фильтры ВГ (КФВГ). Они представляют собой комбинации СРФ и БК, обладают одновременно свойствами ненастроенных фильтров и ИРМ. При этом в КФВГ по сравнению с СРФ меньше мощность реакторных групп и загрузка БК по току и напряжению, меньше потери мощности в фильтре. Такие фильтров приведены в [25].

○ *Гибридные фильтры (ГФ).*

Альтернативное решение, позволяющее снижать затраты на улучшение КЭ с помощью активной фильтрации, заключается в использовании гибридных фильтров, в которых АФ включается параллельно или последовательно с ФКУ. При этом ФКУ настраивается на частоты наиболее значимых ВГ, а АФ обеспечивает дополнительное снижение несинусоидальности; в этом случае требуется значительно меньшая установленная мощность АФ. Гибридный фильтр, в цепях которого используются АФ, включенные последовательно и параллельно, называется кондиционером качества электроэнергии [25].

○ *Активные фильтры (АФ).*

Активные фильтры (АФ) являются многофункциональными устройствами, обеспечивающим, в зависимости от схем, фильтрацию ВГ и интергармоник (ИГ), компенсацию реактивной мощности, уменьшение глубины и длительности провалов напряжения, регулирование напряжения у потребителя. В общем случае АФ представляют собой источник реактивного тока нагрузки основной частоты, ВГ и ИГ и предназначены для их компенсации. В качестве АФ используются инверторы напряжения, построенные на тиристорах или транзисторах. Активный фильтр включается или параллельно нагрузке или последовательно в рассечку линии.

Устройство управления обеспечивает формирование управляющих сигналов согласно алгоритму, позволяющему АФ генерировать

компенсирующий реактивный ток основной частоты и токи ВГ и ИГ нелинейной нагрузки. Тогда суммарный результирующий ток теоретически является чисто активным током практически синусоидальной формы.

В схеме продольного включения АФ представляет собой независимый источник переменного напряжения, вводимый между источником и нагрузкой. Амплитуда и фаза независимого источника напряжения изменяются по заданному закону и обеспечивают требуемое выходное напряжение U_i . Эта схема позволяет не только минимизировать ВГ и ИГ, но и обеспечивать регулирование напряжения у потребителя [55].

4. Снижение несимметрии напряжения.

Для снижения несимметрии напряжения используют симметрирующие устройства СУ. Использование СУ позволяет компенсировать в сети эквивалентный ток обратной последовательности, а, следовательно, и напряжения обратной последовательности.

В зависимости от места установки СУ различают следующие способы симметрирования: индивидуальный; групповой; централизованный; комбинированный;

Индивидуальные СУ целесообразны для симметрирования отдельных ЭП. Индивидуальный способ симметрирования устраняет несимметрию непосредственно в месте её возникновения – на зажимах несимметричного ЭП. Однако, коэффициент использования СУ при этом низкий.

Групповое симметрирование заключается в установке в различных точках сети СУ, каждое из которых симметрирует определенный участок сети (группу несимметричных ЭП). Лучшими показателями обладает групповой способ симметрирования. Выбор способа симметрирования в конкретных случаях определяется параметрами сети, числом и характером работы несимметричных ЭП [69].

При централизованном способе в распределительной сети устанавливается одно СУ. При централизованном способе установленная мощность СУ оказывается меньше, чем при индивидуальном, но и снижение

несимметрии напряжения также меньше, т.е. более низкая эффективность использования СУ.

Комбинированный способ заключается в одновременном использовании нескольких способов, представленных в одной сети.

В системах электроснабжения в зависимости от характера ЭП и места их установки используются управляемые и неуправляемые СУ. В настоящее время разработано большое число схем СУ как с электрическими, так и с электромагнитными связями между элементами [14].

1.6 Структурный анализ участка электрической сети

Рассматриваемый участок электрической сети содержит 4 тяговых подстанции. На участке при таком количестве подстанций с тяговой нагрузкой явно будут наблюдаться ухудшения показателей качества электроэнергии, т.к. тяга переменного тока определена по источникам искажений. Так, например, на отклонение напряжения влияет протяженность линий и силовые трансформаторы.

Низкие показатели качества электроэнергии могут привести:

- к уменьшению пропускной способности линий электропередач;
- к недоиспользованию мощностей трансформаторов и генераторов;
- к дополнительному нагреву обмоток электродвигателей и генераторов;
- к повышенному нагреву трансформаторов, а, следовательно, и сокращение срока их службы.

Необходимо произвести структурный анализ исследуемого участка электрической сети, т.к. для устаревшего оборудования высока вероятность возникновения аварийной ситуации.

Структурный анализ электроэнергетической системы района включает в себя следующие задачи [58]:

- характеристику источников питания;
- структурный анализ электрических сетей.

Для анализа принимаем участок электрической сети, связывающий между собой следующие станции и подстанции:

- ✓ ПС Амурская,
- ✓ ПС М.Чесноковская/т,
- ✓ ПС Свободный,
- ✓ ПС Белогорск,
- ✓ ПС Белогорск/т,
- ✓ ПС Короли/т,
- ✓ ПС Хвойная,
- ✓ ПС Завитая,
- ✓ ПС Завитая/т,
- ✓ Бурейская ГЭС,
- ✓ Райчихинская ГРЭС.

На некоторых подстанциях учтены перетоки активной и реактивной мощности от других подстанций. В частности на ПС Амурская учтены перетоки на ПС Новокиевка, ПС Благовещенская, ПС Ледяна и ПС Ледяная/т; на ПС Завитая переток на ПС Варваровка.

Однолинейная схема принятого участка электрической сети представлена на 1 листе графической части.

Проведём структурный анализ выбранного участка электрической сети.

На рисунке 5 представлен граф рассматриваемого участка электрической сети ПС Амурская – ПС Завитая.

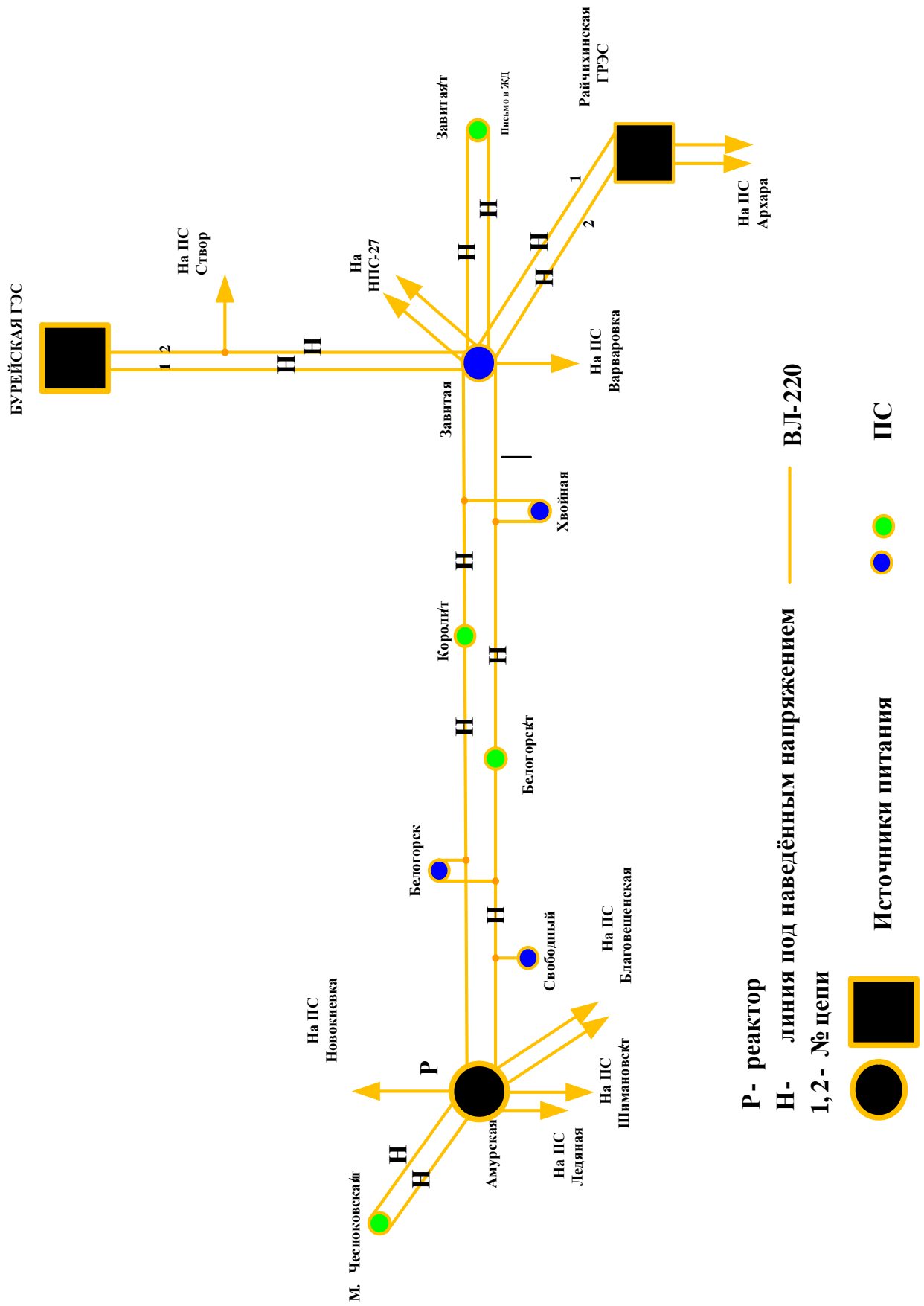


Рисунок 5 – Граф рассматриваемого участка электрической сети

1.6.1 Анализ источников питания

Источниками питания генерирующими электроэнергию рассматриваемого участка являются:

- ПС Амурская;
- Бурейская ГЭС;
- Райчихинская ГРЭС.

ПС Амурская 500/220/110/35/10 кВ

ПС Амурская является самой крупной подстанцией в рассматриваемом районе. По ВЛЭП 500 кВ она связывает Бурейскую и Зейскую ГЭС, а так же осуществляет экспорт электроэнергии в Китай.

На ПС установлено 8 автотрансформаторов:

- 6 однофазных автотрансформаторов АОДЦТН-167000/500/220/10 кВ;
- 2 автотрансформатора АДЦТН-63000/220/110/35 кВ.

Распределительное устройство 500 кВ ПС Амурская выполнено по типовой схеме «Шестиугольник». Данное РУ содержит 2 трансформаторные ячейки и 4 линейных. Так же на РУ 500 кВ установлены 9 дугогасящих реакторов мощностью 60 Мвар каждый.

Распределительное устройство 220 кВ выполнено по типовой схеме «Одна рабочая секционированная выключателем и обходная системы шин», содержит 2 трансформаторные ячейки и 11 линейных.

Распределительное устройство 35 кВ выполнено по типовой схеме «Одна рабочая секционированная выключателем система шин», содержит 2 трансформаторные ячейки и 9 линейных.

Распределительное устройство 110 кВ выполнено по не типовой схеме содержит 1 трансформаторную ячейку. РУ 110 кВ не имеет присоединений и является не задействованной.

Распределительные устройство 10 кВ на однолинейной схеме не задействовано, его описание не требуется [41].

Бурейская ГЭС

Гидроэлектростанция, расположенная на реке Бурее, в Амурской области у посёлка Талакан. Крупнейшая электростанция на Дальнем Востоке России. Имея установленную мощность 2010 МВт, Количество и марка генераторов: 6 × СВ 1313/265-48УХЛ4.

Конструктивно сооружения ГЭС разделяются на плотину, здание ГЭС, открытое распределительное устройство (ОРУ) и здание элегазового комплектного распределительного устройства (КРУЭ). Для связи между ОРУ и КРУЭ установлено 4 трансформатора АОДЦТН-167000/500/220 [41].

Электроэнергия, производимая станцией, выдаётся в энергосистему Дальнего Востока России по линиям электропередачи 220 кВ и 500 кВ:

- ВЛ-500 кВ Бурейская ГЭС — Амурская 1 (278,6 км);
- ВЛ-500 кВ Бурейская ГЭС — Хабаровская 1 (429,9 км);
- ВЛ-500 кВ Бурейская ГЭС — Хабаровская 2 (427,2 км);
- ВЛ-220 кВ Бурейская ГЭС — Талакан 1, Талакан 2 (тупиковые);
- ВЛ-220 кВ Бурейская ГЭС — Завитая 1, Завитая 2 (транзитные).

Райчихинская ГРЭС

Райчихинская ГРЭС – старейшее энергетическое предприятие Амурской области, находится в поселке Прогресс. Ввод в эксплуатацию в 1963 году.

Установленная мощность:

- электрическая – 102 МВт,
- тепловая – 238 Гкал/ч.

Годовая выработка: электроэнергии – 318 млн.кВт*ч, тепла – 1860 тыс. Гкал.

Основное оборудование станции:

- 2 котлоагрегата типа ЦКТИ-75-39Ф ст. № 3 и ст. № 4,
- 4 котлоагрегата типа БКЗ-220-100Ф ст. № 6-9,
- турбоагрегат типа К-12-29 ст. № 4,
- турбоагрегат типа Р-7-29/7 ст. № 5,

- турбоагрегат типа К-50-90 ст. № 6,
- турбоагрегат типа П-33/50-90/8 ст. № 7.

Топливом для Райчихинской ГРЭС служит бурый уголь Райчихинского месторождения [40].

1.6.2 Структурный анализ электрических сетей

В структурном анализе электрических сетей будем рассматривать ЛЭП и ПС напряжением 220 кВ на участке сети ПС Амурская – ПС Завитая.

Электрическая сеть 220 кВ на данном участке сети по типу является магистральной, питается от ПС Амурская и БГЭС.

В таблице 1 приведена информация по типу присоединения ПС к сети, также схема РУ каждой ПС, число и мощность трансформаторов.

Вид РУ:

8 – Шестиугольник;

13Н – Две рабочие и обходная система шин;

13 – Две рабочие системы шин;

5Н – Мостик с выключателями в цепях линии и ремонтной перемычкой со стороны линии;

5АН – Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов;

3Н – Блок (линия-трансформатор) с выключателем [40].

Всего ПС 220 кВ на рассматриваемом участке 9, большинство ПС являются двухтрансформаторными, по виду присоединения к сети проходные, узловые и тупиковые.

Таблица 5 – Информация по ПС

Наименование ПС	№ тр-ра	Тип трансформатора	Способ к сети	U, кВ	Вид РУ
1	2	3	4	5	6
ПС Амурская	1	АОДЦТН-167000/500	Узловая	500	8
	2	АОДЦТН-167000/500			
	3	АТДЦТН-63000/220		220	13Н
	4	АТДЦТН-63000/220			
ПС М.Чесноковская/т	1	ТДТНЖ-40000/220	Тупиковая	220	5Н
	2	ТДТНЖ-40000/220			
ПС Свободный	1	ТДТН-40000/220	Тупиковая	220	3Н
	2	ТМН-7500/35			
ПС Белогорск	1	АТДЦТН-63000/220	Тупиковая	220	13
	2	АТДЦТН-63000/220			
	3	ТДТН-40000/220			
	4	ТДТН-40000/220			
ПС Белогорск/т	1	ТДТНЖ-40000/220	Проходная	220	5АН
	2	ТДТНЖ-40000/220			
ПС Короли/т	1	ТДТНЖ-40000/220	Проходная	220	5АН
	2	ТДТНЖ-40000/220			
ПС Хвойная	1	АТДЦТН-30000/220	Тупиковая	220	5Н
	2	АТДЦТН-32000/220			
	3	ТМН-4000/35			
	4	ТМН-4000/35			
ПС Завитая	1	ТДТН-25000/220	Узловая	220	13Н
	2	ТДТН-25000/220			
ПС Завитая/т	1	ТДТНЖ-40000/220	Тупиковая	220	5Н
	2	ТДТНЖ-40000/220			

Характеристика ВЛ 220кВ представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристика ВЛ 220 кВ.

Наименование ВЛ	Количество цепей	Марка провода	Длина ВЛ, км
1	2	3	4
220 кВ			
ПС Амурская – ПС М.Чесноковская/т	2	АС-240/32	7,72
ПС Завитая – ПС Завитая/т	2	АС-240/32	7,69
БГЭС – ПС Завитая	2	АС-400/51	78,81
ПС Завитая – Райчихинская ГРЭС	2	АС-300/39	45,53
ПС Амурская – оп.№18	1	АС-240/32	3,46
оп.№18– ПС Свободный	1	АС-240/32	0,04
оп.№18– оп. №285	1	АС-240/32	60,74
оп. №285 – ПС Белогорск	1	АС-240/32	0,07
оп. №285 – ПС Белогорск/т	1	АС-300/39	8,51
ПС Белогорск/т – оп. №179-180	1	АС-240/32	82,23
оп. №179-180 – ПС Хвойная	1	АС-240/32	0,89

1	2	3	4
оп. №179-180 – ПС Завитая	1	АС-300/39	39,22
ПС Завитая – оп. №190	1	АС-300/39	39,05
оп. №190 – ПС Хвойная	1	АС-240/32	0,54
оп. №190 – ПС Короли/т	1	АС-300/39	12,6
ПС Короли/т – оп. № 276	1	АС-300/39	68,84
оп. № 276-277 – ПС Белогорск	1	АС-240/32	0,1
оп. № 276-277 – ПС Амурская	1	АС-300/39	69

Большинство ЛЭП 220 кВ являются одноцепными и находятся в эксплуатации долгое время, поэтому нуждаются в реконструкции. Трансформаторы на многих ПС отработали свой нормативный срок и так же нуждаются в замене. Оборудование уже морально и технически устарело и нуждается в замене. Так как ухудшение показателей качества электроэнергии может привести к сокращению срока службы оборудования, то возможен выход из строя устаревшего оборудования на рассматриваемом участке электрической сети, что в свою очередь может привести к аварийной ситуации. Структурный анализ показал, что есть необходимость в исследовании качества электроэнергии на рассматриваемом участке электрической сети.

1.7 Анализ схемно-режимной ситуации участка электрической сети

1.7.1 Выбор и характеристика ПВК для расчета режима

Программный комплекс RastrWin3 предназначен для решения задач по расчету, анализу и оптимизации режимов электрических сетей и систем. В России основными пользователями RastrWin3 являются Системный Оператор Единой Энергетической Системы (СО ЕЭС) и его филиалы, Федеральная Сетевая Компания (ФСК), МРСК, проектные и научно-исследовательские институты (Энергосетьпроект, ВНИИЭ, НИИПТ и т.д.) [24].

С помощью данной программы можно производить:

- расчет установившихся режимов электрических сетей произвольного размера и сложности, любого напряжения (от 0.4 до 1150 кВ). Полный расчет всех электрических параметров режима (токи, напряжения, потоки и потери активной и реактивной мощности во всех узлах и ветвях электрической сети);

- проверка исходной информации на логическую и физическую непротиворечивость;

- эквивалентирование электрических сетей;

- оптимизация электрических сетей по уровням напряжения, потерям мощности и распределению реактивной мощности;

- расчет положений регуляторов трансформатора под нагрузкой и положений вольтодобавочных трансформаторов;

- учет изменения сопротивления автотрансформатора при изменении положений РПН •

- расчет предельных по передаваемой мощности режимов энергосистемы, определение опасных сечений;

- структурный анализ потерь мощности – по их характеру, типам оборудования, районам и уровням напряжения;

- моделирование отключения ЛЭП, в том числе одностороннего, и определение напряжения на открытом конце;

- моделирование линейных и шинных реакторов, в том числе с возможностью их отключения;

- анализ допустимой токовой загрузки ЛЭП и трансформаторов, в том числе с учетом зависимости допустимого тока от температуры; •

- расчет сетевых коэффициентов, позволяющих оценить влияние изменения входных параметров на результаты расчета, и наоборот, проанализировать чувствительность результатов расчета к изменению входных параметров [24].

1.7.2 Расчет и анализ нормального установившегося режима

Для расчёта режимов использовался ПК « RastrWin». В качестве исходных данных использовались:

- Однолинейная схема ВЛ 110-500 кВ АПМЭС 18.09.2015;
- Контрольные замеры нагрузок АПМЭС 21.12.2016.

Согласно методическим рекомендациям по проектированию развития энергосистем СО 153-34.20.118.-2003 расчёт режимов следует осуществлять:

Расчет нормальной схемы сети предполагает включение в работу всех ВЛ и трансформаторов. При проведении расчетов рекомендуется руководствоваться следующим:

- сети 110 кВ и выше - замкнутыми;
- точки размыкания сетей 110-220 кВ должны быть обоснованы.

Генерация – Райчихинская ГРЭС, Бурейская ГЭС. Базисный узел – шины 220 кВ ПС Амурская. Ниже представлены таблицы с основными параметрами расчетной модели электрической сети.

Проведём расчёт нормального установившегося режима в ПК RastrWin3.

Таблица 7 – Узлы

Тип	Номер	Название	Номинальное напряжение $U_{ном}, кВ$	Район	Активная мощность нагрузки $P_{н}, МВт$	Реактивная мощность нагрузки $Q_{н}, МВт$	Активная мощность генерации $P_{г}, МВт$	Реактивная мощность генерации $Q_{г}, МВт$	Заданный модуль напряжения $U_{зо}, кВ$	Расчётный модуль напряжения $U, кВ$	Расчётный угол напряжения $\Delta, град$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ген	4	ВН ПС Амурская	220	1				155,7	238	238	-34,05
Нагр	5	о.т. ПС Амурская	220	1						235,03	-35,83
Нагр	6	СН ПС Амурская	110	1						117,51	-35,83
Нагр	7	НН ПС Амурская	35	1	33,6	10,2				36,58	-39,29
Нагр	8	ПС М. Чесноковская/т	220	1	48,5	20,1				237,77	-34,12
Нагр	9	оп.18	220	1						237,35	-33,93
Нагр	10	ВН ПС Свободный	220	1						237,35	-33,93

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Нагр	11	о.т. ПС Свободный	220	1							-34,39
Нагр	12	СН ПС Свободный	35	1							-34,39
Нагр	13	НН ПС Свободный	10	1	2,1	1					-34,65
Нагр	14	оп.285	220	1						237,58	-32,91
Нагр	15	ПС Белогорск/т	220	1	47,4	28,4				236,76	-32,62
Нагр	16	оп.179-180	220	1						235,23	-28,19
Нагр	17	оп.276-277	220	1						237,57	-32,9
Нагр	18	ВН ПС Белогорск	220	1						237,57	-32,91
Нагр	19	о.т. Т2 ПС Белогорск	220	1						231,81	-37,07
Нагр	20	СН Т2 ПС Белогорск	35	1	48,1	16,2				36,8	-37,04
Нагр	21	НН Т2 ПС Белогорск	10	1	18,4	2,3				10,47	-37,12
Нагр	22	о.т. Т1 ПС Белогорск	220	1						234,99	-35,3
Нагр	23	СН Т1 ПС Белогорск	110	1	27,1	4,3				117,46	-35,29
Нагр	24	НН Т1 ПС Белогорск	10	1						10,47	-37,12
Нагр	25	ПС Короли/т	220	1	21,2	6,8				235,36	-29,03
Нагр	26	оп.190	220	1						235,21	-28,2
Нагр	27	ВН ПС Хвойная	220	1						235,21	-28,2
Нагр	28	о.т. ПС Хвойная	220	1						235,04	-29,39
Нагр	29	НН ПС Хвойная	35	1	5,4					37,36	-29,67
Нагр	30	СН ПС Хвойная	110	1	6,1					117,49	-29,39
Нагр	31	ВН ПС Завитая	220	1	18					234,52	-25,75
Нагр	32	о.т. ПС Завитая	220	1						232,88	-26,74
Нагр	33	НН ПС Завитая	10	1	1,6	0,5				10,47	-26,86
Нагр	34	СН ПС Завитая	35	1	5,3	2,1				37,02	-26,73
Нагр	35	ПС Завитая/т	220	1	20,7	11,2				234,4	-25,78
Ген	36	РГРЭС	220	1				-42,8	233	233	-25,66
База	37	БГЭС	220	1			312,3	-31,6	236	236	-20,32

Таблица 8 – Ветви

Тип	$N_{нач}$	$N_{кон}$	Название ветви	$R, Ом$	$X, Ом$	$B, мкСм$	$G, мкСм$	$K_{т/г}$	$P_{нач}, МВт$	$Q_{нач}, МВт$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ЛЭП	4	8	ВН ПС Амурская - ПС М. Чесноковская/т	0,93	3,36	-20,1	-1,1		-24	-9
ЛЭП	4	8	ВН ПС Амурская - ПС М. Чесноковская/т	0,93	3,36	-20,1	-1,1		-24	-9
ЛЭП	4	9	ВН ПС Амурская - оп.18	0,42	1,5	-9	-0,5		46	-117
ЛЭП	4	17	ВН ПС Амурская - оп.276-277	6,76	29,6	-182,2	-9,7		36	-7
ЛЭП	9	14	оп.18 - оп.285	7,35	2,42	-157,9	-8,4		47	-117
ЛЭП	14	15	оп.285 - ПС Белогорск/т	0,83	3,65	-22,5	-1,2		61	-67
ЛЭП	15	16	ПС Белогорск/т - оп.179-180	9,95	35,77	-213,8	11,4		108	-39
ЛЭП	16	31	оп.179-180 - ВН ПС Завитая	3,84	16,82	-103,5	-5,5		130	-40
ЛЭП	17	25	оп.276-277 - ПС Короли/т	6,75	29,53	-181,7	-9,7		117	-44
ЛЭП	25	26	ПС Короли/т - оп.190	1,24	5,4	-33,3	-1,8		139	-39
ЛЭП	26	31	оп.190 - ВН ПС Завитая	3,83	16,75	-103,1	-5,5		131	-40
ЛЭП	9	10	оп.18 - ВН ПС Свободный	0	0,02	-0,1	0		0	0
ЛЭП	14	18	оп.285 - ВН ПС Белогорск	0,01	0,03	-0,2	0		-12	-58
ЛЭП	17	18	оп.276-277 - ВН ПС Белогорск	0,01	0,04	-0,3	0		-82	27
ЛЭП	16	27	оп.179-180 - ВН ПС Хвойная	0,11	0,39	-2,3	-0,1		-20	-2
ЛЭП	26	27	оп.190 - ВН ПС Хвойная	0,06	0,24	-1,4	-0,1		9	1
ЛЭП	31	35	ВН ПС Завитая - ПС Завитая/т	0,94	3,34	-20	-1,1		-10	-5
ЛЭП	31	35	ВН ПС Завитая - ПС Завитая/т	0,94	3,34	-20	-1,1		-10	-5
ЛЭП	31	36	ВН ПС Завитая - РГРЭС	4,46	19,53	-120,2	-6,4		0	-15
ЛЭП	31	36	ВН ПС Завитая - РГРЭС	4,46	19,53	-120,2	-6,4		0	-15
ЛЭП	31	37	ВН ПС Завитая - БГЭС	5,91	33,1	-212,8	11,3		154	-19
ЛЭП	31	37	ВН ПС Завитая - БГЭС	5,91	33,1	-212,8	11,3		154	-19

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тр-р	4	5	ВН ПС Амурская - о.т. ПС Амурская	0,7	52	13	1,9	1	-34	-14
Тр-р	18	22	ВН ПС Белогорск - о.т. Т1 ПС Белогорск	0,7	52	13	1,9	1	-45	-13
Тр-р	5	6	о.т. ПС Амурская - СН ПС Амурская	0,7				0,5	0	0
Тр-р	22	23	о.т. Т1 ПС Белогорск - СН Т1 ПС Белогорск	0,7				0,5	-27	-4
Тр-р	5	7	о.т. ПС Амурская - НН ПС Амурская	1,4	97,8			0,159	-34	-12
Тр-р	22	24	о.т. Т1 ПС Белогорск - НН Т1 ПС Белогорск	1,4	97,8			0,045	-18	-6
Тр-р	18	19	ВН ПС Белогорск - о.т. Т2 ПС Белогорск	1,8	82,5	18,2	2,3	1	-49	-18
Тр-р	19	20	о.т. Т2 ПС Белогорск - СН Т2 ПС Белогорск	1,8				0,159	-48	-16
Тр-р	19	21	о.т. Т2 ПС Белогорск - НН Т2 ПС Белогорск	1,8	62,5			0,045	-1	3
Выкл	21	24	НН Т2 ПС Белогорск - НН Т1 ПС Белогорск						18	5
Тр-р	27	28	ВН ПС Хвойная - о.т. ПС Хвойная	2,3	100	14,5	2,2	1	-12	-1
Тр-р	28	30	о.т. ПС Хвойная - СН ПС Хвойная	2,3				0,5	-6	0
Тр-р	28	29	о.т. ПС Хвойная - НН ПС Хвойная	2,3	50			0,159	-5	0
Тр-р	31	32	ВН ПС Завитая - о.т. ПС Завитая	2,85	137,5	12,4	2,1	1	-7	-3
Тр-р	32	34	о.т. ПС Завитая - СН ПС Завитая	2,85				0,159	-5	-2
Тр-р	32	33	о.т. ПС Завитая - НН ПС Завитая	2,85	74			0,045	-2	0
Тр-р	10	11	ВН ПС Свободный - о.т. ПС Свободный	3,6	165	9,1	1,1	1		
Тр-р	11	12	о.т. ПС Свободный - СН ПС Свободный	3,6				0,159		
Тр-р	11	13	о.т. ПС Свободный - НН ПС Свободный	3,6	125			0,045		

На основе рассчитанного режима произведем анализ режимной ситуации. Анализируя сети в рассматриваемом районе можно сделать следующие выводы.

Проведём анализ отклонения напряжения. В таблице 8 приведены результаты отклонения напряжения.

Таблица 9 – Отклонение напряжения

Название	Номинальное напряжение $U_{ном}, кВ$	Фактическое напряжение $U, кВ$	Отклонение напряжения от номинального $U, кВ$
2	3	4	5
ВН ПС Амурская	220	238,00	8,18
СН ПС Амурская	110	117,51	6,83
НН ПС Амурская	35	36,58	4,51
БГЭС	220	236,00	7,27
РГРЭС	220	233,00	5,91
ПС Завитая/т	220	234,40	6,55
ВН ПС Завитая	220	234,52	6,60
СН ПС Завитая	35	37,02	5,77
НН ПС Завитая	10	10,47	4,72
ВН ПС Хвойная	220	235,21	6,92
СН ПС Хвойная	110	117,49	6,81
НН ПС Хвойная	35	37,36	6,75
ПС Короли/т	220	235,36	6,98
ВН ПС Белогорск	220	237,57	7,99
НН Т1 ПС Белогорск	10	10,47	4,66
СН Т1 ПС Белогорск	110	117,46	6,78
НН Т2 ПС Белогорск	10	10,47	4,66
СН Т2 ПС Белогорск	35	36,80	5,14
ПС Белогорск/т	220	236,76	7,62
ВН ПС Свободный	220	237,35	7,88
ПС М. Чесноковская/т	220	237,77	8,08

Согласно ГОСТ 32144-2013 максимальное отклонение напряжения может быть до 10% [10]. Поскольку ±ВЛ Амурской области являются протяженными и мало нагруженными, генерируемая линией зарядная мощность приводит к повышению напряжения. В нормальном режиме напряжение на всех уровнях напряжения выше номинального. Но не превышают предельно допустимых значений напряжения.

Для регулирования СН и НН ПС используются устройства ПБВ и РПН трансформаторов и автотрансформаторов. Завышенное напряжение позволяет снизить потери и обеспечивает необходимое напряжение на более низких классах напряжения, которые в свою очередь являются центрами питания и на которых необходимо выполнять закон встречного регулирования. После расчёта нормального установившегося режима и регулирования напряжения приходим к выводу, что отклонение напряжения соответствует нормам ГОСТ.

Оценку загрузки линий можно осуществить по длительно допустимым токам. Допустимый ток - это такой ток, при длительном протекании которого проводник нагревается до допустимой температуры. Величина данного параметра зависит от сечения проводника. Поскольку данный нормальный режим рассчитан с нагрузками контрольного замера зимнего максимума, был произведен пересчет длительно допустимого тока, для средней температуры окружающей среды в зимний период, равной минус 25 °С [77].

Загрузка ЛЭП представлена в таблице 10

Таблица 10 – Токовая загрузка ЛЭП

N _{нач}	N _{кон}	Название	I _{нач}	I _{кон}	I _{доп25}	I/I _{доп}
1	2	3	4	5	6	7
4	8	ВН ПС Амурская - ПС М. Чесноковская/т	63	64	605	10,5
4	8	ВН ПС Амурская - ПС М. Чесноковская/т	63	64	605	10,5
4	9	ВН ПС Амурская - оп.18	305	306	605	50,5
4	17	ВН ПС Амурская - оп.276-277	88	94	695	13,6
9	14	оп.18 - оп.285	306	325	605	53,8
14	15	оп.285 - ПС Белогорск/т	219	221	695	31,8
15	16	ПС Белогорск/т - оп.179-180	280	289	605	47,8
16	31	оп.179-180 - ВН ПС Завитая	334	337	695	48,5
17	25	оп.276-277 - ПС Короли/т	303	311	695	44,7
25	26	ПС Короли/т - оп.190	355	356	695	51,2
26	31	оп.190 - ВН ПС Завитая	337	340	695	48,9
9	10	оп.18 - ВН ПС Свободный	0	0	605	0
14	18	оп.285 - ВН ПС Белогорск	145	145	605	24
17	18	оп.276-277 - ВН ПС Белогорск	209	209	605	34,6
16	27	оп.179-180 - ВН ПС Хвойная	50	50	605	8,3

1	2	3	4	5	6	7
26	27	оп.190 - ВН ПС Хвойная	21	21	605	3,5
31	35	ВН ПС Завитая - ПС Завитая/т	28	29	605	4,8
31	35	ВН ПС Завитая - ПС Завитая/т	28	29	605	4,8
31	36	ВН ПС Завитая - РГРЭС	37	53	695	7,6
31	36	ВН ПС Завитая - РГРЭС	37	53	695	7,6

Проанализировав токовую загрузку ЛЭП и исходя из условия

$30 \leq I_{\text{расч}}/I_{\text{доп}} \leq 70 \%$ можем сделать вывод:

- перегруженных линий нет,
- некоторые ЛЭП не загружены до оптимального значения.

С помощью вкладки «Ветви – Загрузка» мы можем посмотреть мощность, протекающую по линии, а значит, посчитать коэффициент реактивной мощности для линии. Результаты приведены в таблице 11. $tg\phi$

Таблица 11 – Коэффициент реактивной мощности для линий $tg\phi$

$N_{\text{нач}}$	$N_{\text{кон}}$	Название	Тип	$P_{\text{нач}}$	$P_{\text{кон}}$	$Q_{\text{нач}}$	$Q_{\text{кон}}$	$tg\phi_{\text{нач}}$	$tg\phi_{\text{кон}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	8	ВН ПС Амурская - ПС М. Чесноковская/т	ЛЭП	-24	-24	-9	-10	0,38	0,42
4	8	ВН ПС Амурская - ПС М. Чесноковская/т	ЛЭП	-24	-24	-9	-10	0,38	0,42
4	9	ВН ПС Амурская - оп.18	ЛЭП	0,12	-0,1	0,42	1	3,50	-10,00
4	17	ВН ПС Амурская - оп.276-277	ЛЭП	0,17	-1,1	0,73	1	4,29	-0,91
9	14	оп.18 - оп.285	ЛЭП	2,2	-1	0,72	1	0,33	-1,00
14	15	оп.285 - ПС Белогорск/т	ЛЭП	0,12	-0,3	0,53	1	4,42	-3,33
15	16	ПС Белогорск/т - оп.179-180	ЛЭП	2,42	-4,4	8,7	1	3,60	-0,23
16	31	оп.179-180 - ВН ПС Завитая	ЛЭП	1,3	-2,4	5,69	1	4,38	-0,42
17	25	оп.276-277 - ПС Короли/т	ЛЭП	1,91	-3,9	8,36	1	4,38	-0,26
25	26	ПС Короли/т - оп.190	ЛЭП	0,47	-0,8	2,05	1	4,36	-1,25
26	31	оп.190 - ВН ПС Завитая	ЛЭП	1,32	-2,5	5,76	1	4,36	-0,40

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	10	оп.18 - ВН ПС Свободный	ЛЭП	0	0	-0,01	237,3	0,00	0,00
14	18	оп.285 - ВН ПС Белогорск	ЛЭП	-12	-12	-58	-58	4,83	4,83
17	18	оп.276-277 - ВН ПС Белогорск	ЛЭП	-82	-82	0,01	237,6	0,00	-2,90
16	27	оп.179-180 - ВН ПС Хвойная	ЛЭП	-20	-20	-2	-2	0,10	0,10
26	27	оп.190 - ВН ПС Хвойная	ЛЭП	0	0	-0,08	235,2	0,00	0,00
31	35	ВН ПС Завитая - ПС Завитая/г	ЛЭП	-10	-10	-5	-6	0,50	0,60
31	35	ВН ПС Завитая - ПС Завитая/г	ЛЭП	-10	-10	-5	-6	0,50	0,60
31	36	ВН ПС Завитая - РГРЭС	ЛЭП	0,03	-0,1	0,12	1	4,00	-10,00
31	36	ВН ПС Завитая - РГРЭС	ЛЭП	0,03	-0,1	0,12	1	4,00	-10,00
31	37	ВН ПС Завитая - БГЭС	ЛЭП	2,61	-5,4	14,61	1	5,60	-0,19
31	37	ВН ПС Завитая - БГЭС	ЛЭП	2,61	-5,4	14,61	1	5,60	-0,19
4	5	ВН ПС Амурская - о.т. ПС Амурская	Тр-р	-34	-34	-14	-12	0,41	0,35
18	22	ВН ПС Белогорск - о.т. Т1 ПС Белогорск	Тр-р	-45	-45	-13	-10	0,29	0,22
5	6	о.т. ПС Амурская - СН ПС Амурская	Тр-р	0	0		1	0,00	0,00
22	23	о.т. Т1 ПС Белогорск - СН Т1 ПС Белогорск	Тр-р	-27	-27	-4	-4	0,15	0,15
5	7	о.т. ПС Амурская - НН ПС Амурская	Тр-р	-34	-34	-12	-10	0,35	0,29
22	24	о.т. Т1 ПС Белогорск - НН Т1 ПС Белогорск	Тр-р	-18	-18	-6	-5	0,33	0,28
18	19	ВН ПС Белогорск - о.т. Т2 ПС Белогорск	Тр-р	-49	-49	-18	-13	0,37	0,27
19	20	о.т. Т2 ПС Белогорск - СН Т2 ПС Белогорск	Тр-р	-48	-48	-16	-16	0,33	0,33
19	21	о.т. Т2 ПС Белогорск - НН Т2 ПС Белогорск	Тр-р	-1	-1	0,01	231,8	-0,01	231,80
21	24	НН Т2 ПС Белогорск - НН Т1 ПС Белогорск	Выкл		0		10,5	0,00	0,00
27	28	ВН ПС Хвойная - о.т. ПС Хвойная	Тр-р	-12	-12	-1	0	0,08	0,00
28	30	о.т. ПС Хвойная - СН ПС Хвойная	Тр-р	-6	-6	0	0	0,00	0,00
28	29	о.т. ПС Хвойная - НН ПС Хвойная	Тр-р	-5	-5	0	0	0,00	0,00
31	32	ВН ПС Завитая - о.т. ПС Завитая	Тр-р	-7	-7	-3	-3	0,43	0,43

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
32	34	о.т. ПС Завитая - СН ПС Завитая	Тр-р	-5	-5	-2	-2	0,40	0,40
32	33	о.т. ПС Завитая - НН ПС Завитая	Тр-р	-2	-2	0	0	0,00	0,00

Согласно [35] для номинального напряжения 220 кВ следует принимать коэффициент реактивной мощности равный 0,59. Коэффициент реактивной мощности сильно завышен на некоторых ВЛ. Данные линии являются достаточно протяженными и малозагруженными, либо имеют тяговую нагрузку, поэтому генерируют большое количество зарядной мощности. Необходимо увеличить пропускную способность данных ВЛ, необходимо снизить данный показатель.

Анализ загрузки трансформаторов в нормальном и послеаварийном режиме.

Коэффициент загрузки в нормальном режиме находим по формуле:

$$K_3 = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{2 \cdot S_{ном}} \quad (12)$$

Коэффициент загрузки в послеаварийном режиме находим по формуле:

$$K_{3ПА} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{S_{ном}} \quad (13)$$

Коэффициент реактивной мощности:

$$tg\varphi = \frac{Q}{P} \quad (14)$$

Таблица 12 – Коэффициенты загрузки трансформаторов

ПС	Кол-во и мощность трансформаторов	Нагрузка ПС, МВА	K_3	$K_{3ПА}$
ПС Амурская	2x63 МВА	33+j10,2	0,27	0,54
ПС М.Чесноковская/т	2x40 МВА	48,5+j20,1	0,6	1,3
ПС Свободный	1x40 МВА	2,1+j1	0,029	0,06

Продолжение таблицы 12

ПС Белогорск	2x63 МВА	66,5+j18,5	27	
	2x40 МВА	27,1+j4,3	0,3	0,7
ПС Белогорск/т	2x40 МВА	47,4+j28,4	0,6	1,3
ПС Хвойная	2x30 МВА	11,5+j1	0,1	0,4
ПС Короли/т	2x40 МВА	21,2+j6,8	0,3	0,6
ПС Завитая	2x25 МВА	20,9+j2,6	0,5	0,8
ПС Завитая/т	2x40 МВА	20,7+j11,2	0,3	0,6

Почти все трансформаторы и автотрансформаторы являются недогруженными как в нормальном, так и в аварийном режиме, что приводит к неоправданным потерям. Для снижения потерь XX следует отключать один из трансформаторов. Или произвести замену на трансформаторы меньше номинальной мощности.

Так же ПВК RastrWin 3 позволяет определять потери электрической энергии, возникающие при её транспортировке. Результаты расчётов потерь в программе ПВК RastrWin 3 представлены в таблицах 13-14.

Таблица 13 – Районы

N_{p-n}	Район	$N_{об}$	$P_{ген}$	$P_{наг}$	D_p	$P_{потр}$	$P_{вн}$
1	220		312	301	15,95	312	0

Таблица 14 – Районы и потери

Район	$U_{ном}$	D_p	$dP_{нагр}$	$dP_{ЛЭП}$	$dP_{тр}$	$dP_{пост}$	ШЛЭП	Штр
			$dP_{нагр}$	$dP_{ЛЭП}$	$dP_{тр}$	$dP_{пост}$	Корона	XX _{тр-р}
1	220	15,95	5,6	5,32	0,28	4,64	5,22	0,57

В нормальном установившемся режиме потери составляют 10,95 МВт и составляют 3,5%.

Структурный анализ и анализ режимной ситуации показал, т.к. на рассматриваемом участке электрической сети присутствует устаревшее оборудование и потери электрической энергии, то целесообразным будет рассчитать показатели качества электроэнергии.

2 РАСЧЁТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАССМАТРИВАЕМОМ УЧАСТКЕ СЕТИ

На рассматриваемом участке сети есть 4 тяговые подстанции. Как видно тяговая нагрузка является источником искажения показателей качества электроэнергии. Из приведенного выше структурного анализа и анализа установившегося режима видно, что существует необходимость в расчёте показателей качества электрической энергии.

В данном разделе следует решить следующие задачи:

1. Определить показатели качества электроэнергии, характеризующие несинусоидальность и несимметрию напряжения. Сравнить полученные результаты с нормами ГОСТ 32144-2013.
2. Предложить способы улучшения качества электроэнергии.
3. Оценить полученные показатели качества электроэнергии после применения мер их улучшения. Сравнить полученные результаты с нормами ГОСТ 32144-2013.

2.1 Расчёт коэффициентов гармонических составляющих напряжений существующего участка сети

Гармонические составляющие напряжения возникают, как правило, вследствие воздействия нелинейных нагрузок пользователей электрических сетей, подключенных к электрическим сетям различного напряжения. Гармонические токи, присутствующие в электрических сетях, создают падения напряжений на сопротивлениях в электрической сети. Гармонические токи, сопротивления и, соответственно, напряжения гармонических составляющих в точках передачи электрической энергии изменяются во времени [13].

Показателями качества электрической энергии, относящимися к гармоническим составляющим напряжения, рассмотренные в данном расчете, являются:

1. Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_u , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать уровней, установленных в таблице 1 пункт 1, в течение 95 % времени интервала за одну неделю;

2. Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_u , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать уровней, установленных в таблице 1 пункт 2, в течение 100 % времени интервала за одну неделю [10].

Для расчета необходимо подготовить схему замещения рассматриваемого участка сети. Далее необходимо составить электрическую схему и произвести преобразование всех ее элементов [34].

Далее рассмотрим основные способы преобразования схем.

1. Последовательное (рисунок 6) и параллельное (рисунок 7) сложение элементов:

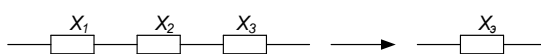


Рисунок 6 – Последовательное сложение элементов

Эквивалентное сопротивление схемы при последовательном и параллельном сложении находится по формулам(11-12):

$$X_3 = X_1 + X_2 + X_3 \quad (15)$$

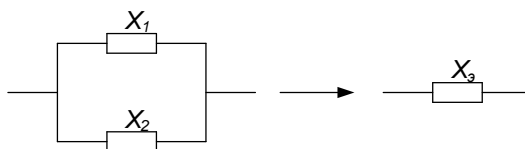


Рисунок 7 – Параллельное сложение элементов

$$X_3 = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2} \quad (16)$$

2. Замена сопротивлений, соединенных в звезду на треугольник (13-15) и наоборот (16-18) представлена на рисунках 8-9 [63]:

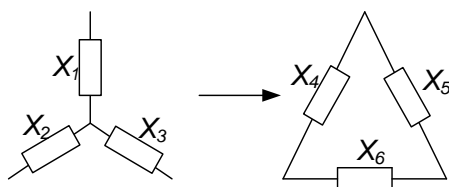


Рисунок 8 – Замена сопротивлений, соединенных в звезду на треугольник

$$X_4 = X_1 + X_2 + \frac{X_1 \cdot X_2}{X_3} \quad (17)$$

$$X_5 = X_1 + X_3 + \frac{X_1 \cdot X_3}{X_2} \quad (18)$$

$$X_6 = X_2 + X_3 + \frac{X_2 \cdot X_3}{X_1} \quad (19)$$

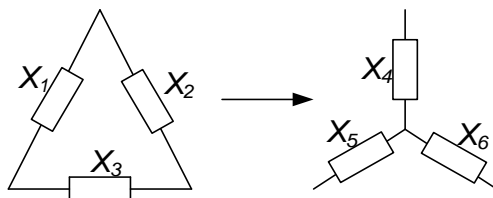


Рисунок 9 – Замена сопротивлений, соединенных в треугольник на звезду

$$X_4 = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2 + X_3} \quad (20)$$

$$X_5 = \frac{X_1 \cdot X_3}{X_1 + X_2 + X_3} \quad (21)$$

$$X_6 = \frac{X_3 \cdot X_2}{X_1 + X_2 + X_3} \quad (22)$$

Ниже на рисунках 10-20 изображены схемы замещения и ее преобразования для двух линий ПС Амурская – ПС Завитая, для линии ПС Амурская – ПС М.Чесноковская/т и ПС Завитая – ПС Завитая/т.

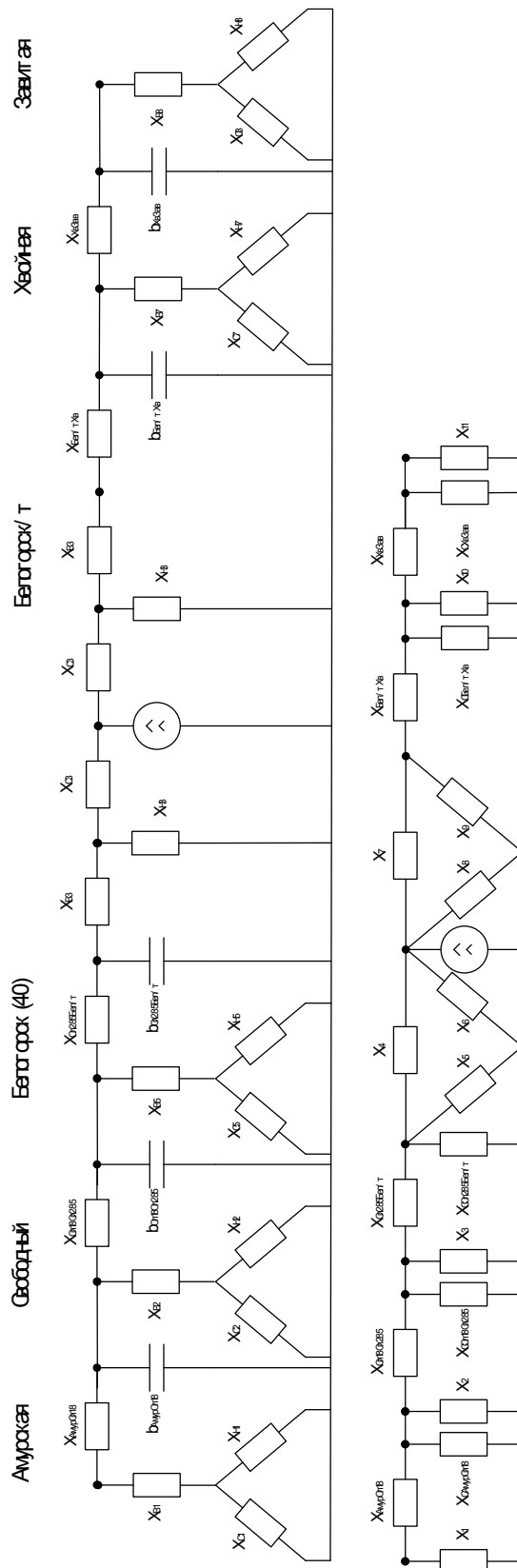


Рисунок 10 –Схема замещения 1 линии ПС Амурская – ПС Завитая и её преобразование

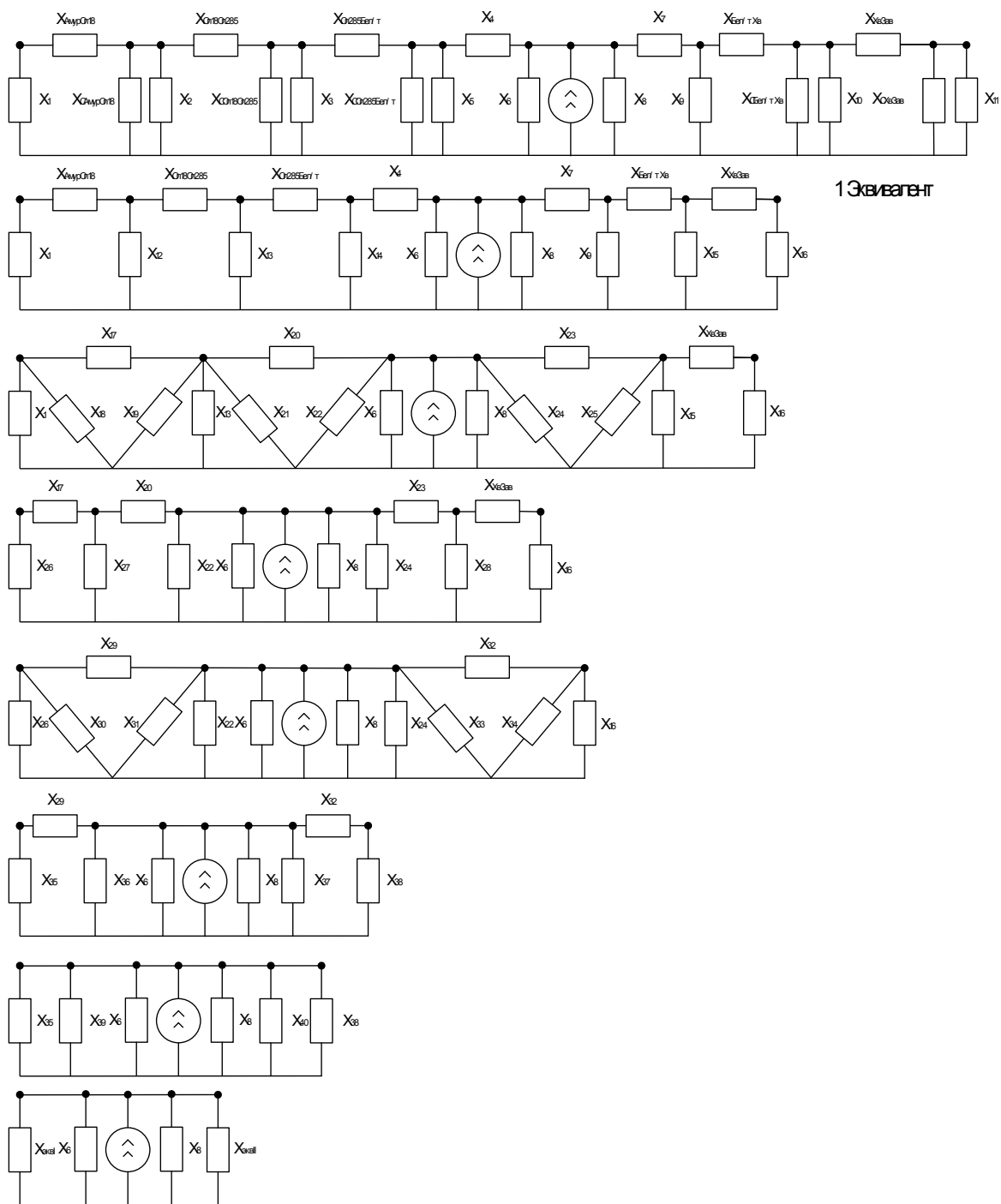


Рисунок 11 –Схема замещения 1 линии ПС Амурская – ПС Завитая и её преобразование (1 эквивалент)

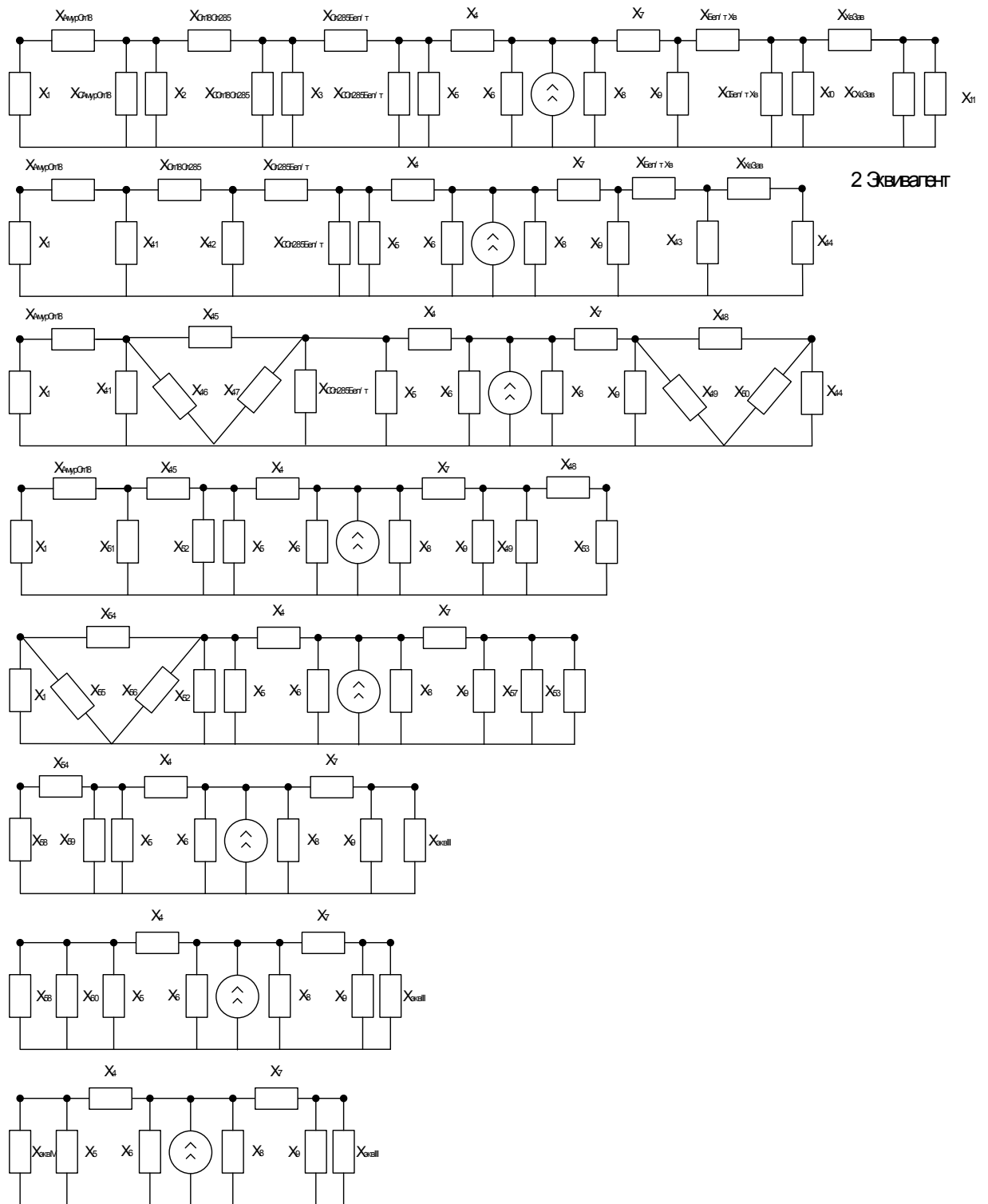


Рисунок 12 –Схема замещения 1 линии ПС Амурская – ПС Завитая и её преобразование (2 эквивалент)

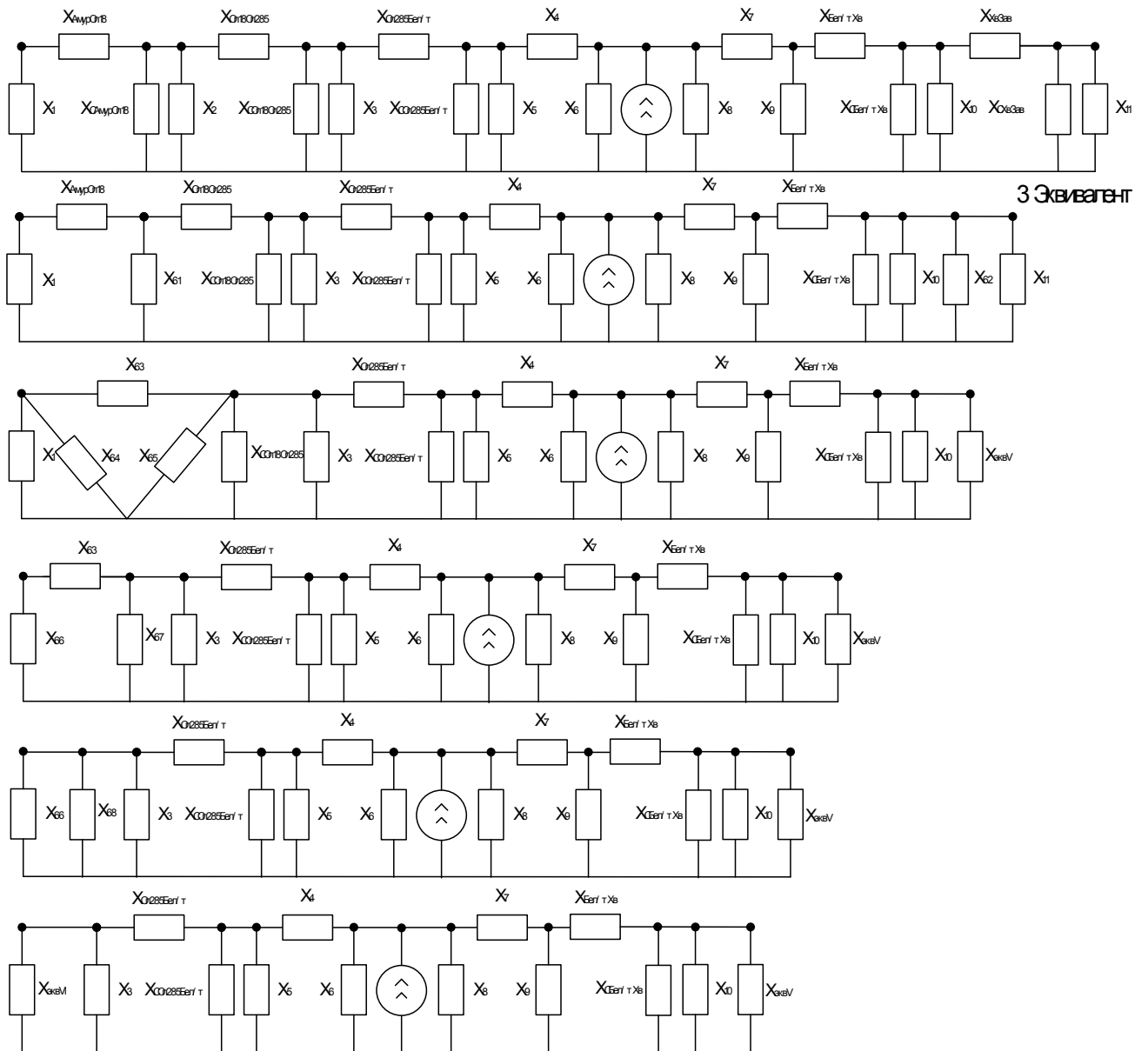


Рисунок 13 –Схема замещения 1 линии ПС Амурская – ПС Завитая и её преобразование (3 эквивалент)

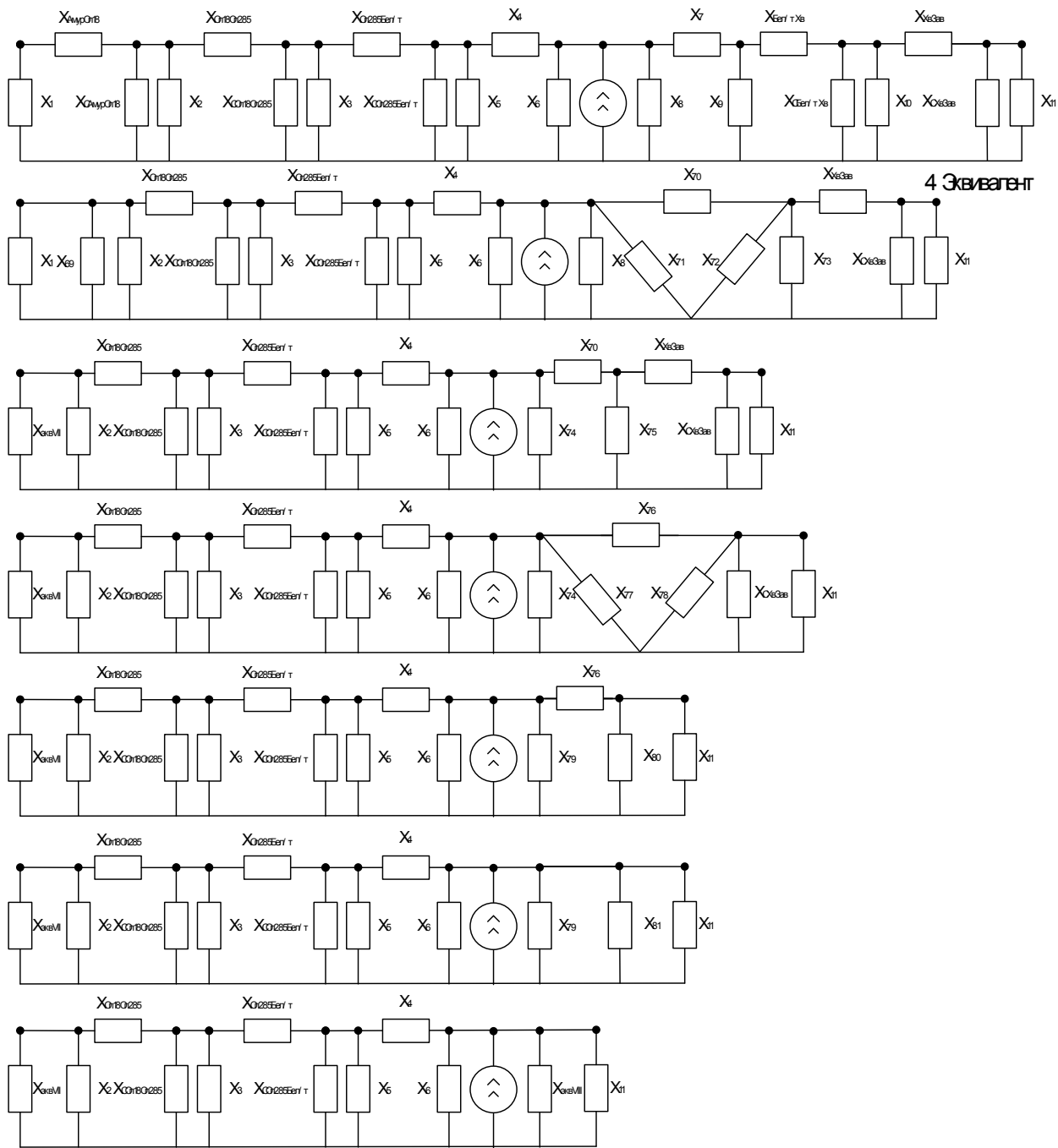


Рисунок 14 –Схема замещения 1 линии ПС Амурская – ПС Завитая и её преобразование (4 эквивалент)

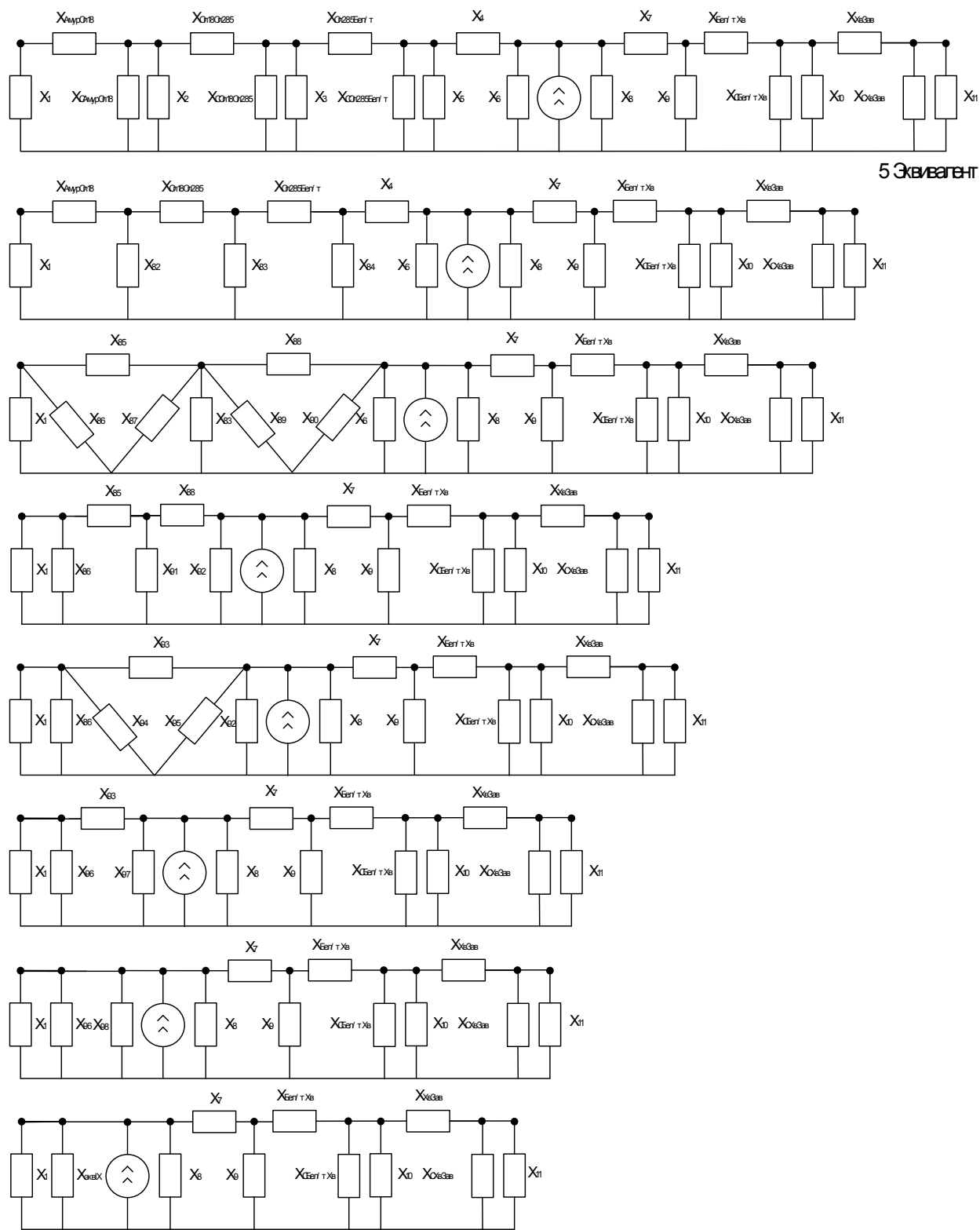


Рисунок 15 –Схема замещения 1 линии ПС Амурская – ПС Завитая и её преобразование (5 эквивалент)

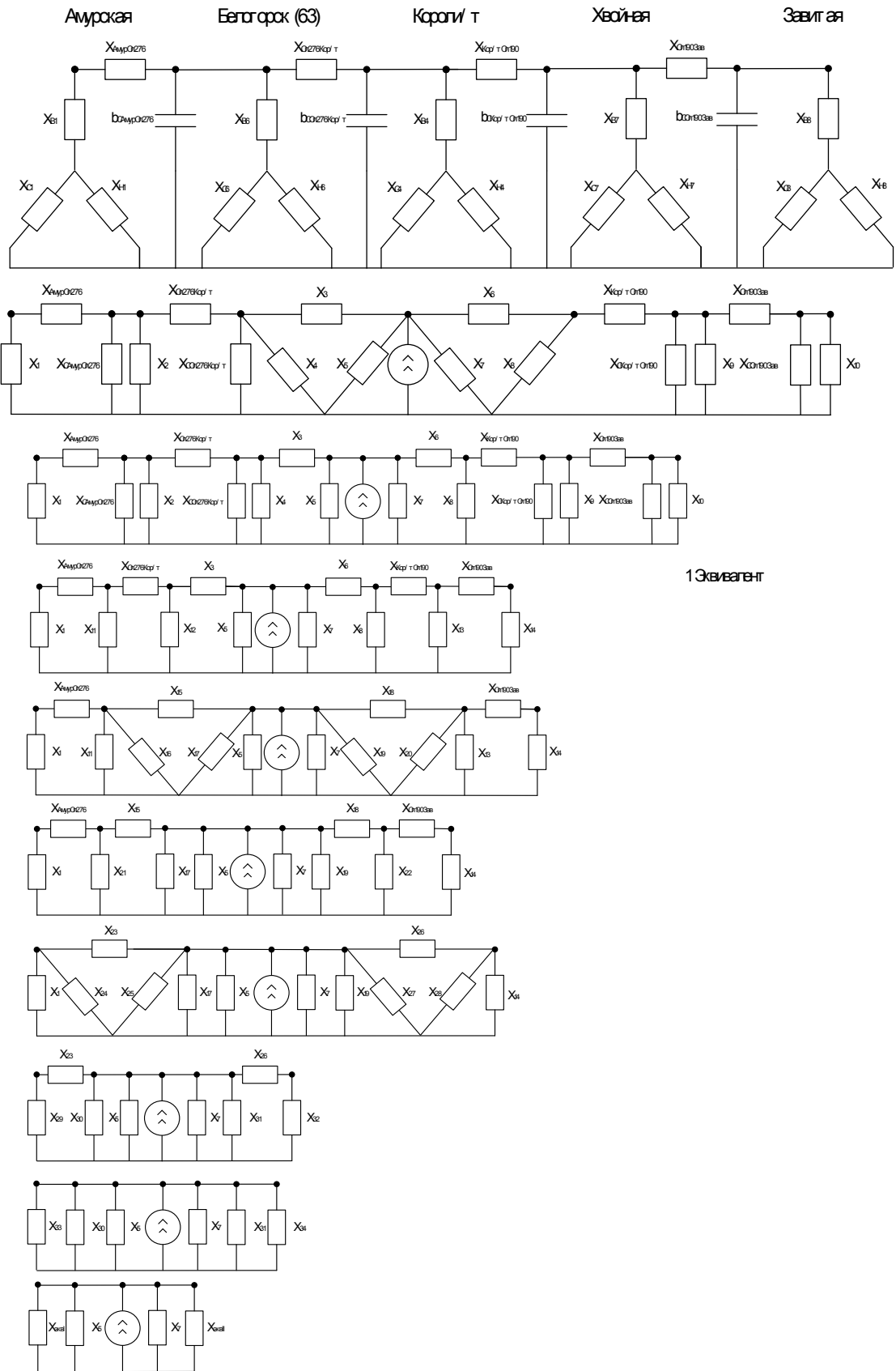


Рисунок 16 – Схема замещения 2 линии ПС Амурская – ПС Завитая и её преобразование (1 эквивалент)

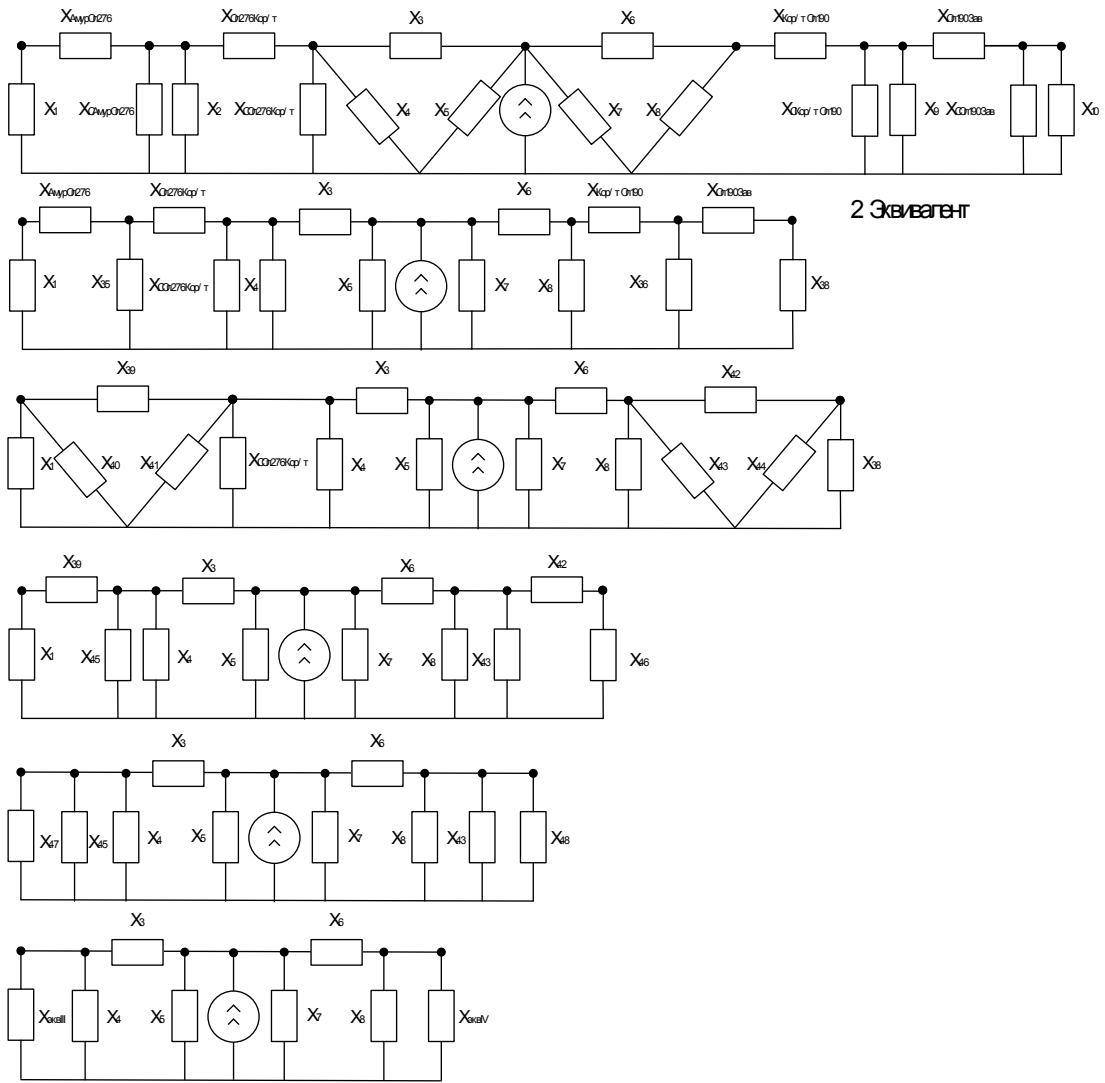


Рисунок 17 –Схема замещения 2 линии ПС Амурская – ПС Завитая и её преобразование (2 эквивалент)

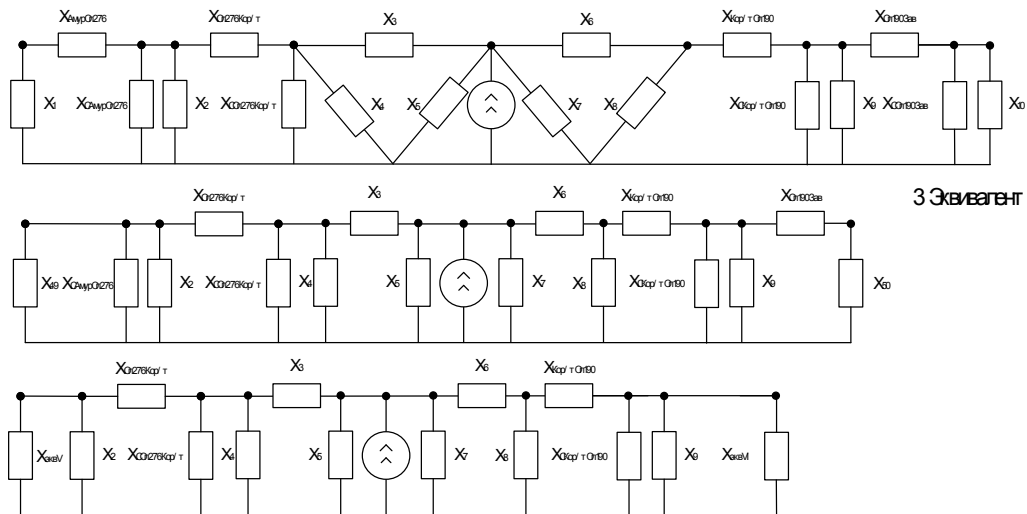


Рисунок 18 –Схема замещения 2 линии ПС Амурская – ПС Завитая и её преобразование (3 эквивалент)

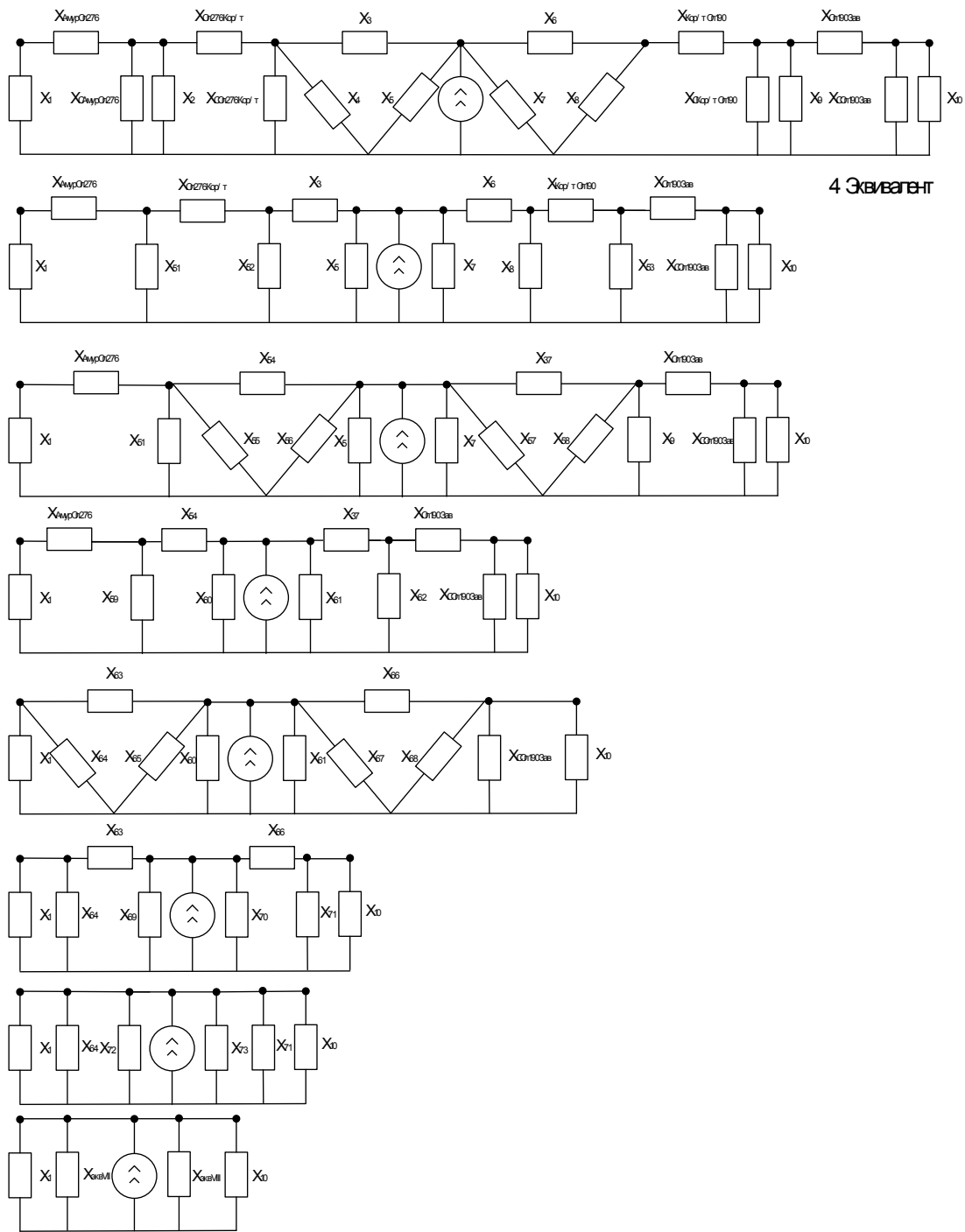


Рисунок 19 –Схема замещения 2 линии ПС Амурская – ПС Завитая и её преобразование (4 эквивалент)

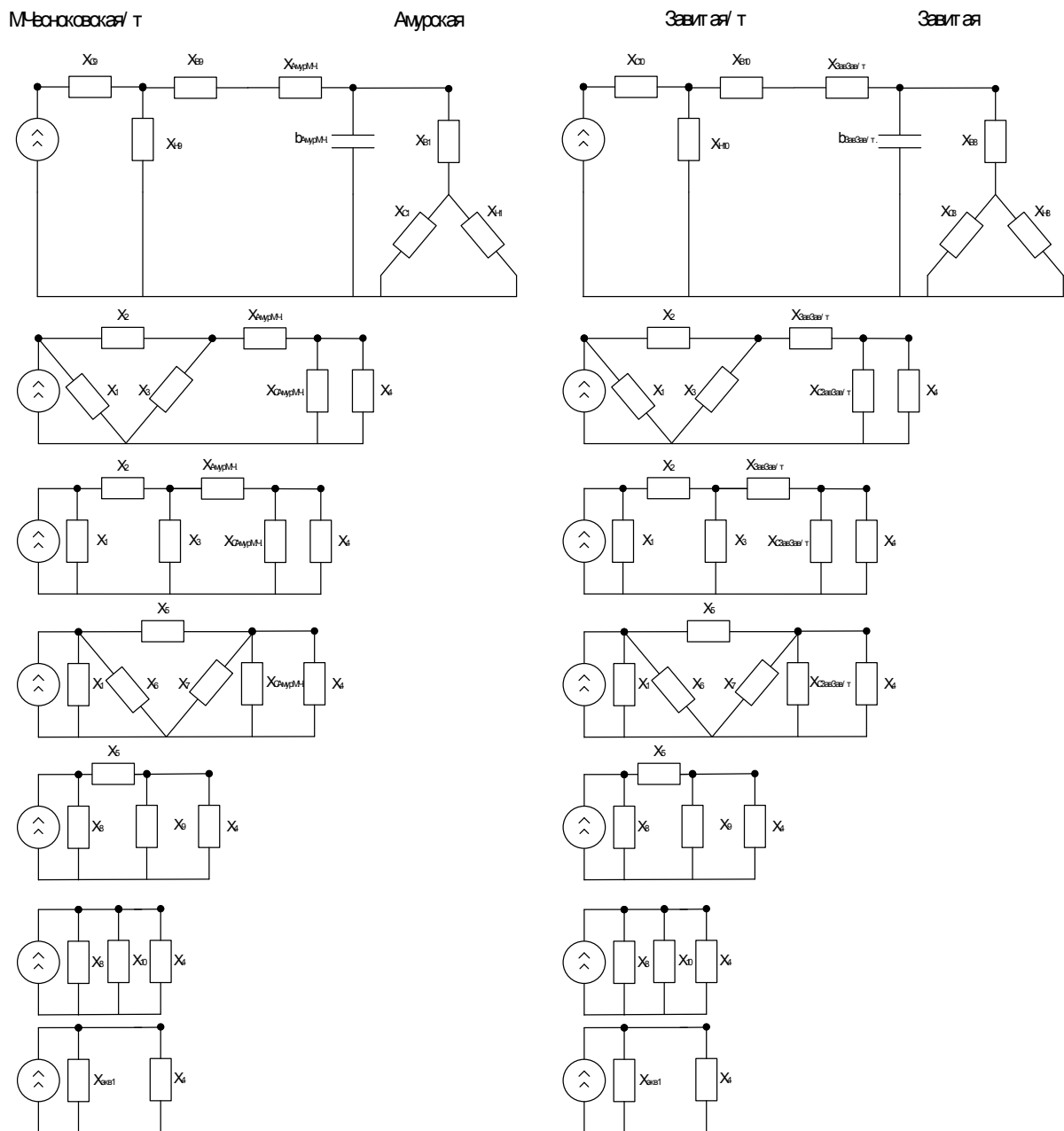


Рисунок 20 – Схема замещения линий ПС Амурская – ПС

М.Чесноковская/т и ПС Завитая – ПС Завитая/т и их преобразование

Проведём расчёт коэффициента гармонических составляющих напряжения для ПС Амурская. Рассматриваем расчёт на линии ПС Амурская – ПС М.Чесноковская/т.

Для выбора исходных данных пользуемся структурным анализом участка электрической сети и справочными данными [37].

Исходные данные:

$$X_{B9} = 82,5 \text{ Ом}, = 0 \quad X_{C9} \text{ Ом}, = 62,5 \quad X_{H9} \text{ Ом},$$

$$X_{B1} = 30,55 \text{ Ом}, = 0 \quad X_{C1} \text{ Ом}, = 56,75 \quad X_{H1} \text{ Ом},$$

$$X_{\text{АмурМ.Ч.}} = 1,676 \text{ Ом}, = -14850 \quad X_{\text{САмурМ.Ч.}} \text{ Ом},$$

$$S_{\text{нМ.Ч.}_m} = 22310 \text{ кВт}, = 220 \text{ U}_H \text{ кВ}.$$

1. Проводим преобразование электрической схемы на 1 гармонике:

$$X_1 = X_{H9} + X_{C9} + \frac{X_{H9} \cdot X_{C9}}{X_{B9}} \quad (23)$$

$$X_1 = 62,5 + 0 + \frac{62,5 \cdot 0}{82,5} = 62,5 \text{ Ом}.$$

$$X_2 = X_{B9} + X_{C9} + \frac{X_{B9} \cdot X_{C9}}{X_{H9}} \quad (24)$$

$$X_2 = 82,5 + 0 + \frac{82,5 \cdot 0}{62,5} = 82,5 \text{ Ом}.$$

$$X_3 = X_{B9} + X_{H9} \quad (25)$$

$$X_3 = 82,5 + 62,5 = 145 \text{ Ом}.$$

$$X_4 = \frac{X_{B1} \cdot X_{H1}}{X_{B1} + X_{H1}} \quad (26)$$

$$X_4 = \frac{30,55 \cdot 56,75}{30,55 + 56,75} = 19,859 \text{ Ом}.$$

$$X_5 = X_2 + X_{\text{АмурМ.Ч.}} + \frac{X_2 \cdot X_{\text{АмурМ.Ч.}}}{X_3} \quad (27)$$

$$X_5 = 82,5 + 1,676 + \frac{82,5 \cdot 1,676}{145} = 85,134 \text{ Ом}.$$

$$X_6 = X_2 + X_3 + \frac{X_2 \cdot X_3}{X_{\text{АмурМ.Ч.}}} \quad (28)$$

$$X_6 = 82,5 + 145 + \frac{82,5 \cdot 145}{1,676} = 7352 \text{ Ом}.$$

$$X_7 = X_{\text{АмурМ.Ч.}} + X_3 + \frac{X_{\text{АмурМ.Ч.}} \cdot X_3}{X_2} \quad (29)$$

$$X_7 = 1,676 + 145 + \frac{1,676 \cdot 145}{82,5} = 149,63 \text{ Ом.}$$

$$X_8 = \frac{X_1 \cdot X_6}{X_1 + X_6} \quad (30)$$

$$X_8 = \frac{62,5 \cdot 7352}{62,5 + 7352} = 61,973 \text{ Ом.}$$

$$X_9 = \frac{X_7 \cdot X_{\text{САмурМ.Ч.}}}{X_7 + X_{\text{САмурМ.Ч.}}} \quad (31)$$

$$X_9 = \frac{149,63 \cdot (-14850)}{149,63 + (-14850)} = 151,154 \text{ Ом.}$$

$$X_{10} = \frac{X_5 \cdot X_9}{X_5 + X_9} \quad (32)$$

$$X_{10} = \frac{85,134 \cdot 151,154}{85,134 + 151,154} = 54,461 \text{ Ом.}$$

$$X_{\text{экв. I}} = \frac{X_8 \cdot X_{10}}{X_8 + X_{10}} \quad (33)$$

$$X_{\text{экв. I}} = \frac{61,973 \cdot 54,461}{61,973 + 54,461} = 28,987 \text{ Ом.}$$

$$I_3 = \frac{S_{\text{нм.ч.}_m}}{\sqrt{3} + U_H} \quad (34)$$

$$I_3 = \frac{22310}{\sqrt{3} + 220} = 58,555 \text{ А.}$$

Коэффициент для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_3 = \frac{X_{\text{экв I}}}{X_4 + X_{\text{экв I}}} \quad (35)$$

$$K_3 = \frac{28,987}{19,859 + 28,987} = 0,593$$

Ток протекающий на ПС Амурская:

$$I_{1,3} = K_3 \cdot I_3 \quad (36)$$

$$I_{1,3} = 0,593 \cdot 58,555 = 34,749 \text{ А.}$$

2.Проводим преобразование электрической схемы на 3 гармонике(n=3):

$$X_{1,3} = X_{H9} \cdot n + X_{C9} \cdot n + \frac{X_{H9} \cdot n \cdot X_{C9} \cdot n}{X_{B9} \cdot n} \quad (37)$$

$$X_{1,3} = 62,5 \cdot 3 + 0 \cdot 3 + \frac{62,5 \cdot 3 \cdot 0 \cdot 3}{82,5 \cdot 3} = 187,5 \text{ Ом.}$$

$$X_{2,3} = X_{B9} \cdot n + X_{C9} \cdot n + \frac{X_{B9} \cdot n \cdot X_{C9} \cdot n}{X_{H9} \cdot n} \quad (38)$$

$$X_{2,3} = 82,5 \cdot 3 + 0 \cdot 3 + \frac{82,5 \cdot 3 \cdot 0 \cdot 33}{62,5 \cdot 3} = 247,5 \text{ Ом.}$$

$$X_{3,3} = X_{B9} \cdot n + X_{H9} \cdot n \quad (39)$$

$$X_{3,3} = 82,5 \cdot 3 + 62,5 \cdot 3 = 435 \text{ Ом.}$$

$$X_{4,3} = \frac{X_{B1} \cdot n \cdot X_{H1} \cdot n}{X_{B1} \cdot n + X_{H1} \cdot n} \quad (40)$$

$$X_{4,3} = \frac{30,55 \cdot 3 \cdot 56,75 \cdot 3}{30,55 \cdot 3 + 56,75 \cdot 3} = 59,578 \text{ Ом.}$$

$$X_{5,3} = X_{2,3} + X_{\text{АмурМ.Ч.}} \cdot n + \frac{X_{2,3} \cdot X_{\text{АмурМ.Ч.}} \cdot n}{X_{3,3}} \quad (41)$$

$$X_{5,3} = 247,5 + 1,676 \cdot 3 + \frac{247,5 \cdot 1,676 \cdot 3}{435} = 255,403 \text{ Ом.}$$

$$X_{6,3} = X_{2,3} + X_{3,3} + \frac{X_{2,3} \cdot X_{3,3}}{X_{\text{АмурМ.Ч.}} \cdot n} \quad (42)$$

$$X_{6,3} = 247,5 + 435 + \frac{247,5 \cdot 435}{1,676 \cdot 3} = 22060 \text{ Ом.}$$

$$X_{7,3} = X_{\text{АмурМ.Ч.}} \cdot n + X_{3,3} + \frac{X_{\text{АмурМ.Ч.}} \cdot n \cdot X_{3,3}}{X_{2,3}} \quad (43)$$

$$X_{7,3} = 1,676 \cdot 3 + 435 + \frac{1,676 \cdot 3 \cdot 435}{247,5} = 448,891 \text{ Ом.}$$

$$X_{8,3} = \frac{X_{1,3} \cdot X_{6,3}}{X_{1,3} + X_{6,3}} \quad (44)$$

$$X_{8,3} = \frac{187,5 \cdot 22060}{187,5 + 22060} = 185,919 \text{ Ом.}$$

$$X_{9,3} = \frac{X_{7,3} \cdot X_{\text{САмурМ.Ч.}} / n}{X_{7,3} + X_{\text{САмурМ.Ч.}} / n} \quad (45)$$

$$X_{9,3} = \frac{448,891 \cdot (-14850/3)}{448,891 + (-14850/3)} = 493,671 \text{ Ом.}$$

$$X_{10,3} = \frac{X_{5,3} \cdot X_{9,3}}{X_{5,3} + X_{9,3}} \quad (46)$$

$$X_{10,3} = \frac{255,403 \cdot 493,671}{255,403 + 493,671} = 168,321 \text{ Ом.}$$

$$X_{\text{экв.1.3}} = \frac{X_{8,3} \cdot X_{10,3}}{X_{8,3} + X_{10,3}} \quad (47)$$

$$X_{\text{экв.1.3}} = \frac{185,919 \cdot 168,321}{185,919 + 168,321} = 88,342 \text{ Ом.}$$

Коэффициент для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{3,3} = \frac{X_{\text{экв.1.3}}}{X_{4,3} + X_{\text{экв.1.3}}} \quad (48)$$

$$K_{3,3} = \frac{88,342}{59,578 + 88,342} = 0,597$$

Ток протекающий на ПС Амурская:

$$I_{1,3} = K_{3,3} \cdot I_3 \quad (49)$$

$$I_{1,3} = 0,597 \cdot 58,555 = 34,971 \text{ А.}$$

3.Проводим преобразование электрической схемы на 5 гармонике (n=5) по формулам (37)-(47):

Коэффициент для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{3,5} = \frac{X_{\text{эвл.5}}}{X_{4,5} + X_{\text{эвл.5}}} \quad (50)$$

$$K_{3,5} = \frac{152,062}{99,296 + 152,062} = 0,605$$

Ток протекающий на ПС Амурская:

$$I_{1,5} = K_{3,5} \cdot I_{3,5} \quad (51)$$

$$I_{1,5} = 0,605 \cdot 58,55 = 35,424 \text{ А.}$$

4.Проводим преобразование электрической схемы на 7 гармонике (n=7) по формулам (37)-(47):

Коэффициент для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{3,7} = \frac{X_{\text{эвл.7}}}{X_{4,7} + X_{\text{эвл.7}}} \quad (52)$$

$$K_{3,7} = \frac{224,173}{139,015 + 224,173} = 0,617$$

Ток протекающий на ПС Амурская:

$$I_{1,7} = K_{3,7} \cdot I_{3,7} \quad (53)$$

$$I_{1,7} = 0,617 \cdot 58,55 = 36,142 \text{ А.}$$

5.Находим ток 1,3,5,7 гармоника протекающий на ПС Амурская, преобразуя линии ПС Амурская – ПС Завитая. Подробный расчёт в приложении А.

$$I_{9,3} = 22,902 \text{ А, А. } I_{7,3} = 10,1$$

$$I_{9,5} = 23,09 \text{ А, А. } I_{7,5} = 10,03$$

$$I_{9,7} = 23,385 \text{ А, А. } I_{7,7} = 10,023$$

6. Находим суммарный ток 3,5,7 гармоника.

$$I_{A,3} = \sqrt{I_{1,3}^2 + I_{9,3}^2 + I_{7,3}^2}$$

$$I_{A,3} = \sqrt{34,9^2 + 22,9^2 + 10,1^2} = 43,005 \text{ А.}$$

$$I_{A,5} = \sqrt{I_{1,5}^2 + I_{9,5}^2 + I_{7,5}^2}$$

$$I_{A.5} = \sqrt{35,4^2 + 23,09^2 + 10,03^2} = 43,45 \text{ A.}$$

$$I_{A.7} = \sqrt{I_{1.7}^2 + I_{9.7}^2 + I_{7.7}^2}$$

$$I_{A.7} = \sqrt{36,1^2 + 23,385^2 + 10,023^2} = 44,2 \text{ A.}$$

7. Находим напряжение n-й гармоники:

$$U_{A.3} = I_{A.3} \cdot X_{1,3}$$

$$U_{A.3} = 43,005 \cdot 59,578 = 2562 \text{ B,}$$

$$U_{A.5} = I_{A.5} \cdot X_{1,5}$$

$$U_{A.5} = 43,45 \cdot 99,296 = 4315 \text{ B,}$$

$$U_{A.7} = I_{A.7} \cdot X_{1,7}$$

$$U_{A.7} = 44,2 \cdot 139,015 = 6144 \text{ B.}$$

6. Находим коэффициент гармонических составляющих напряжения

$$K_U = \frac{\sqrt{U_{A.3}^2 + U_{A.5}^2 + U_{A.7}^2}}{U_n \cdot 10^3} \cdot 100$$

$$K_U = \frac{\sqrt{2562^2 + 4315^2 + 6144^2}}{220 \cdot 10^3} \cdot 100 = 3,6$$

Подробный расчет значения суммарного коэффициента гармонических составляющих рассмотрен в приложении А.

В таблице 15 приведены результаты расчётов токов ВГ.

Таблица 15 – Результаты расчётов токов ВГ

Ток гармоники I_n, A						
Номер гармоники n	ПС Амурская	ПС Свободный	ПС Белогорек (Т1, Т2)	ПС Белогорек (Т3, Т4)	ПС Хвойная	ПС Завитая
3	43,005	0,821	22,302	1,607	7,767	30,974
5	43,459	0,826	22,303	1,626	7,769	31,091
7	44,2	0,829	22,304	1,657	7,78	31,312

Ниже приведена сравнительная таблица нормируемых и полученных значений коэффициента гармонических составляющих напряжения.

Таблица 16 – Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения

№	Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{и}$, %	
1.	Нормируемое значение в течении 95% времени интервала в одну неделю	2,0
2.	Нормируемое значение в течении 100% времени интервала в одну неделю	3,0
3.	Полученные значение в результате расчета	
	ПС Свободный	0,2
	ПС Белогорск (Т1,Т2)	1,3
	ПС Белогорск (Т3,Т4)	1,9
	ПС Хвойная	0,2
	ПС Амурская	3,6
	ПС Завитая	3,8

Из таблицы наглядно видно, что фактическое расчетное значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения выше, чем значения, установленные ГОСТ 32144-2013 на ПС Амурская и ПС Завитая. Необходимо применение мер, способных обеспечить нормируемый уровень коэффициента гармонических составляющих.

2.2. Расчёт коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности на рассматриваемом участке сети

Расчёт коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности проведём для ПС Завитая и ПС Амурская. Для этого составим схему замещения.

Для коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности установлены следующие нормы:

- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2 % в течение 95 % времени интервала в одну неделю;

- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю [10].

Схема замещения для расчета коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности для двух линий ПС Амурская – ПС Завитая, ПС Амурская – ПС М.Чесноковская/т и ПС Завитая – ПС Завитая/т и их преобразования представлены на рисунках 21-24.

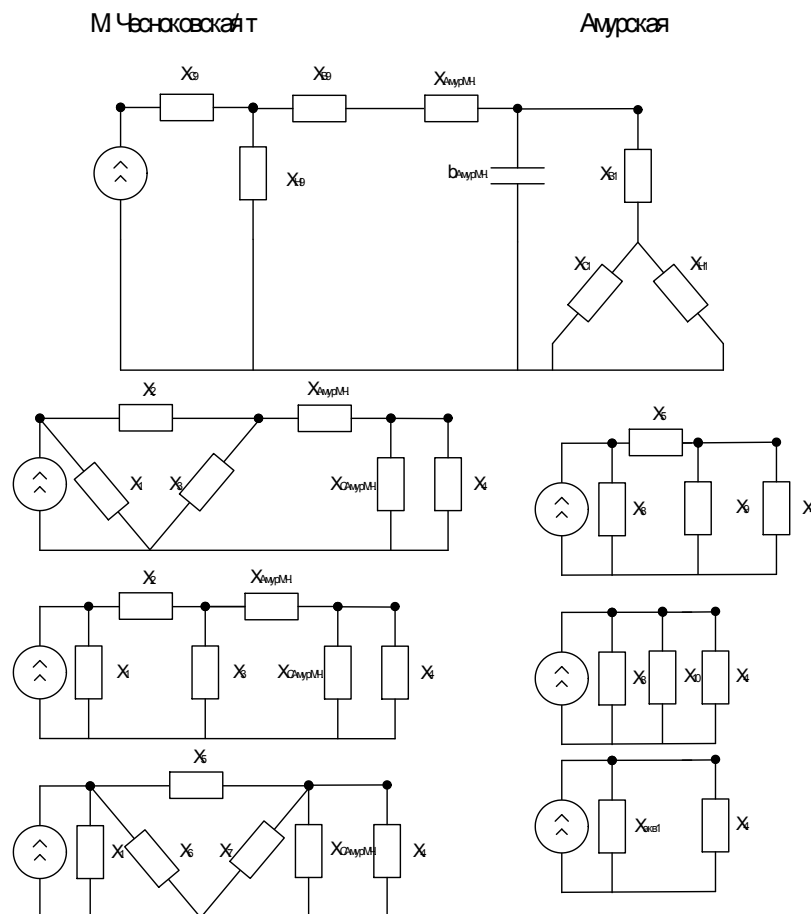


Рисунок 21 – Схема замещения линий ПС Амурская – ПС М.Чесноковская/т и её преобразование для расчёта коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности

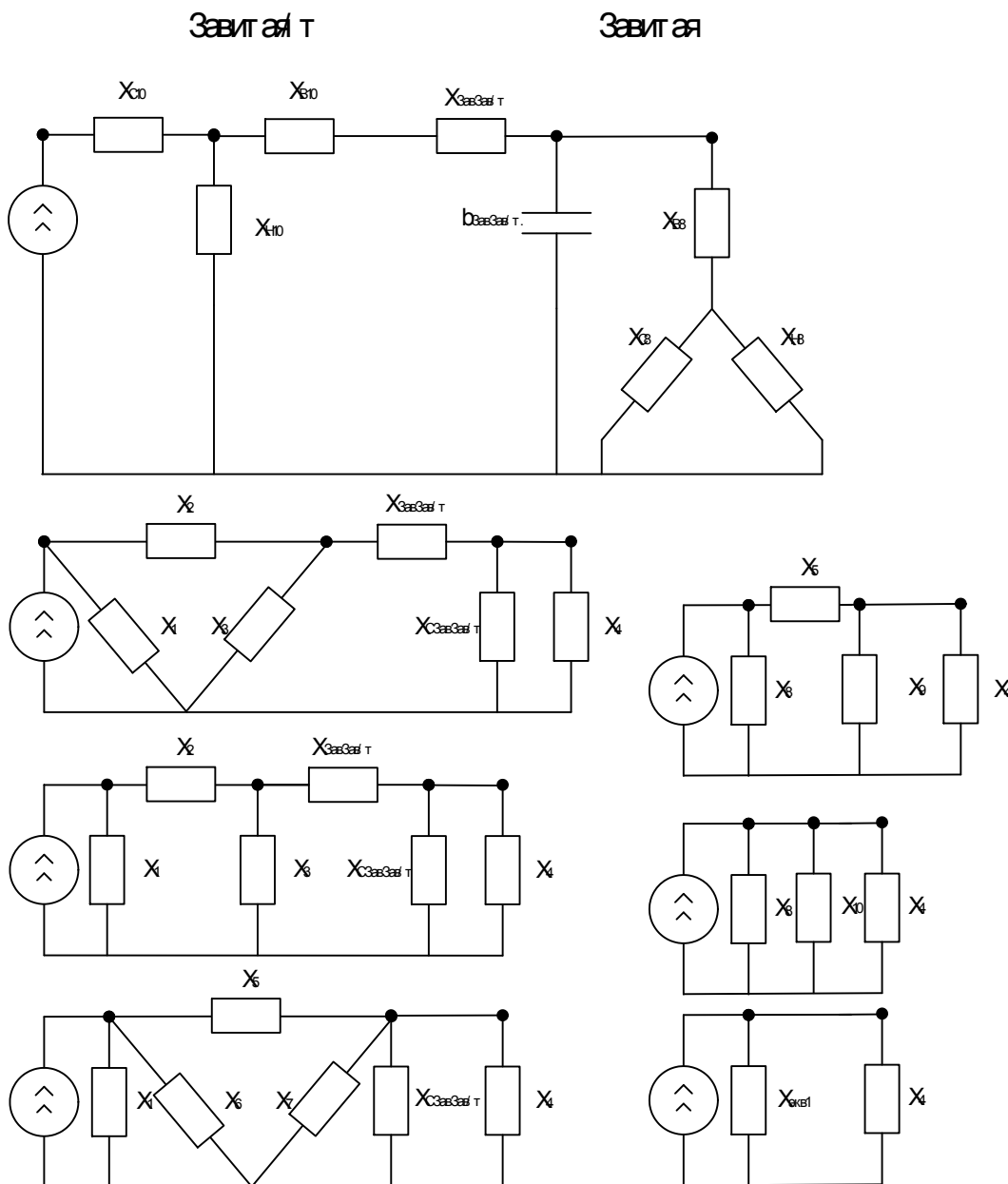


Рисунок 22 – Схема замещения линий ПС Завитая – ПС Завитая/т и её преобразование для расчёта коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности

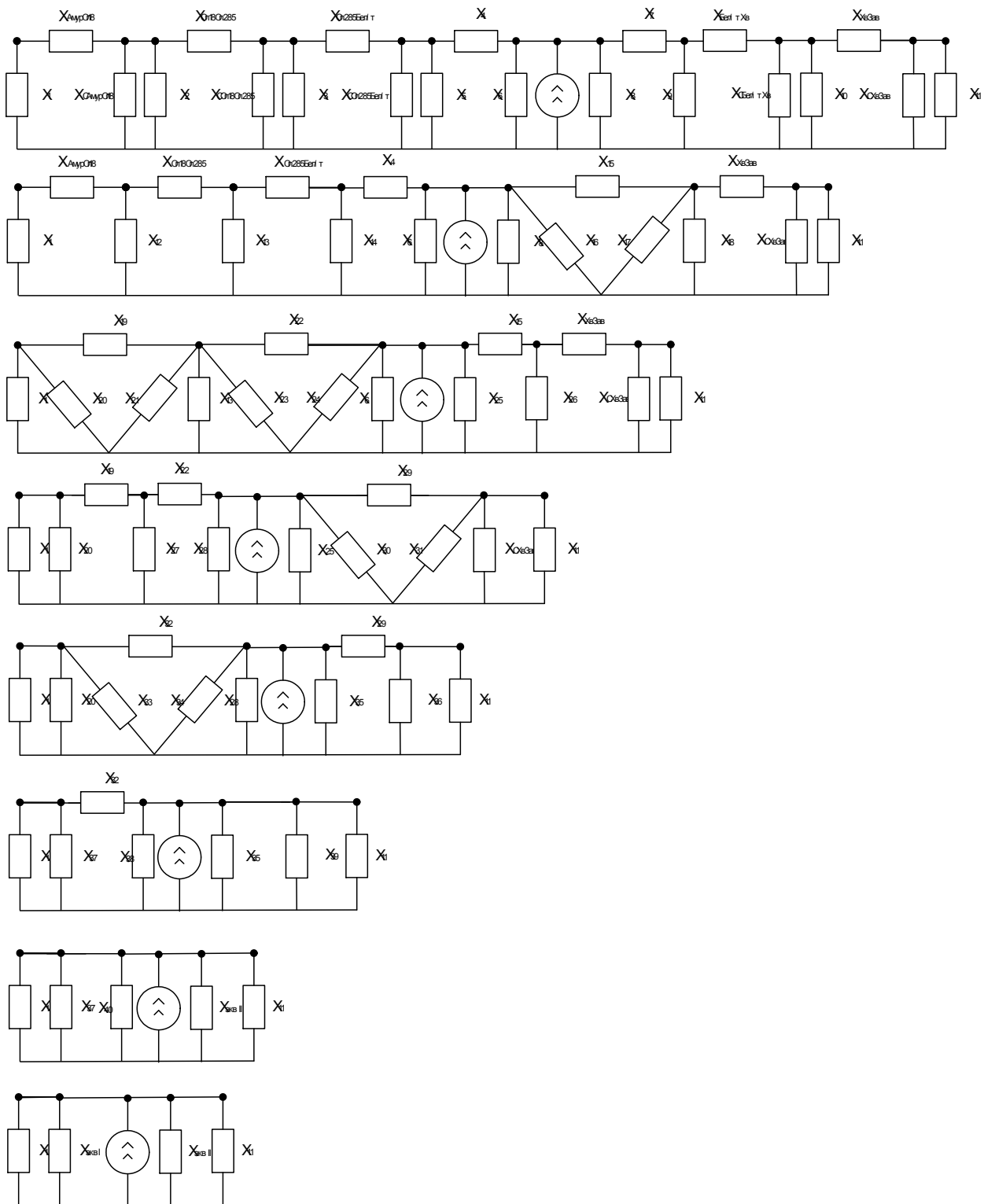


Рисунок 23 – Схема замещения 1 линии ПС Амурская – ПС Завитая и её преобразование для расчёта коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности

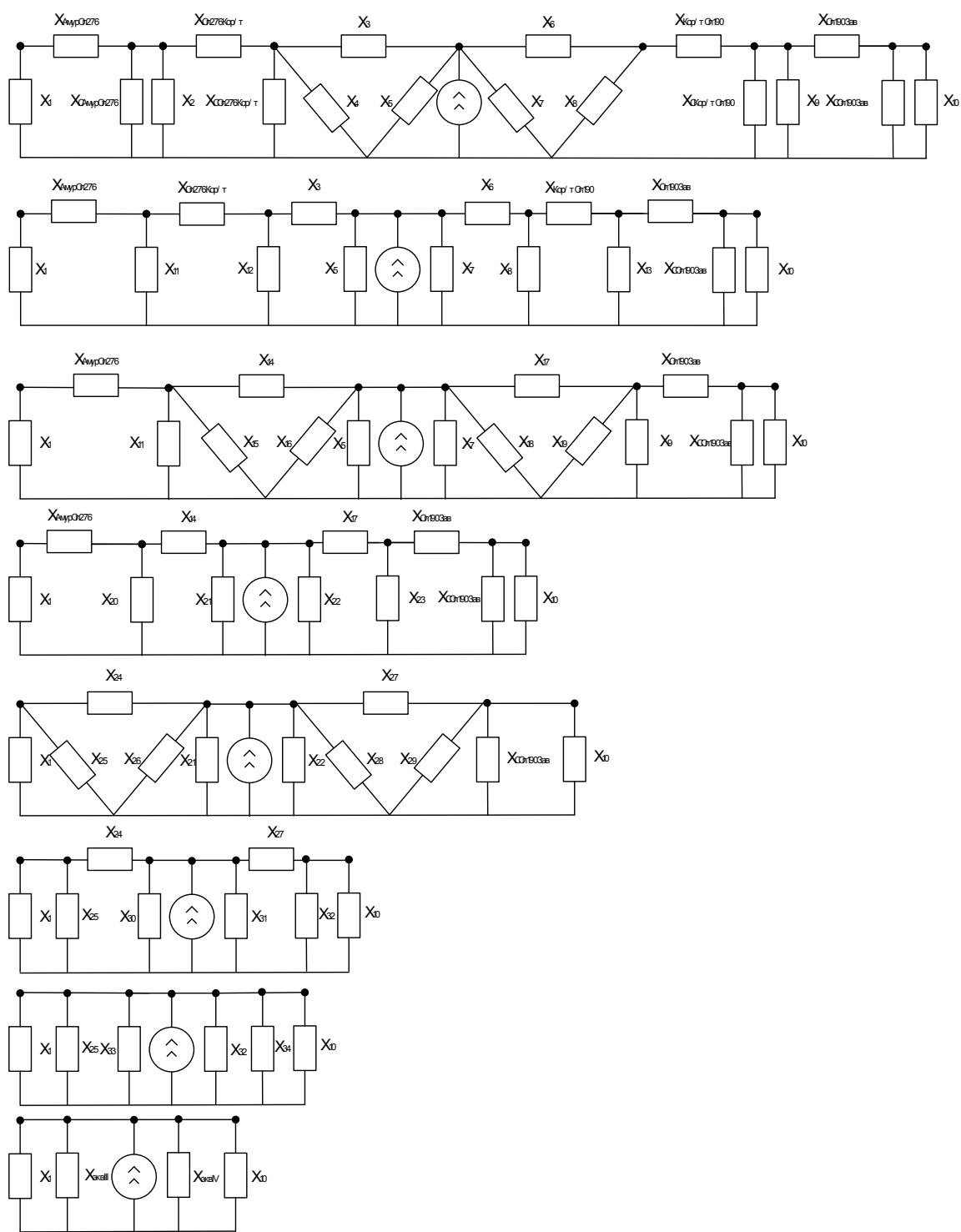


Рисунок 24 – Схема замещения 2 линии ПС Амурская – ПС Завитая и её преобразование для расчёта коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности

Подробный расчет значения суммарного коэффициента гармонических составляющих рассмотрен в приложении Б.

Результаты расчётов токов обратной последовательности приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты расчётов токов обратной последовательности

Ток обратной последовательности I_2, A					
Наименование ПС	для 1 линии ПС Амурская- ПС Завитая $I_{2.1}, A$	для 2 линии ПС Амурская- ПС Завитая $I_{2.2}, A$	для линии ПС Амурская- ПС М. Чесноковская/т $I_{2.3}, A$	для линии ПС Завитая- ПС Завитая/т $I_{2.4}, A$	$\Sigma I_2, A$
ПС Амурская	24,169	9,738	22,963	-	34,731
ПС Завитая	24,169	9,738	-	10,294	28,016

Сравнительная таблица нормируемых и полученных значений коэффициента несимметрии напряжения приведена ниже.

Таблица 18 – Нормируемых и полученных значений коэффициента несимметрии напряжения

№	Значения суммарного коэффициента несимметрии напряжения $K_{2U},$ %	
1.	Нормируемое значение в течении 95% времени интервала в одну неделю	2,0
2.	Нормируемое значение в течении 100% времени интервала в одну неделю	4,0
3.	Полученные значение в результате расчета	
	ПС Амурская	1,4
	ПС Завитая	1,8

Из таблицы наглядно видно, что фактическое расчетное значение суммарного коэффициента несимметрии напряжения соответствует значениям, установленным ГОСТ 32144-2013.

2.3 Выбор технических средств для улучшения качества электрической энергии

Так как значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения не соответствует нормам ГОСТ, то есть необходимость в применении мер улучшения качества электроэнергии.

Снижение несинусоидальности напряжения обеспечивается либо рациональным построением схемы электрической сети, при которой коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения будет в допустимых пределах, либо применением специальных схем нелинейных нагрузок, либо применением корректирующих устройств [34].

Схемные решения уже осуществлены, тяговая нагрузка подключена на более высокое напряжение 220 кВ.

Рассмотрим в данной работе применение технических средств. Специальные устройства и установки, требующие, как правило, дополнительных капитальных вложений.

Экономически целесообразно применение силовых резонансных фильтров. Использование фильтров — распространенный способ снижения уровня высших гармоник.

Фильтр высших гармоник представляет собой последовательно соединенные реактор и БК. Параметры реактора и БК подбирают так, чтобы их результирующее сопротивление для определенной частоты гармоники было равно нулю.

В общем случае на каждую гармонику нужен свой фильтр. Фильтр образует ветвь с очень малым сопротивлением, параллельную электрической сети, шунтирует ее на частоте заданной гармоники и соответственно снижает напряжение этой гармоники.

Батареи конденсаторов, применяемые в фильтрах, целесообразно одновременно использовать для компенсации реактивной мощности [14].

Проведем расчёт СРФ для ПС Амурская.

1) Выбор батарей конденсаторов.

Ориентировочная мощность батарей конденсаторов фильтров

$$Q_0 = \sqrt{3} \cdot 1,3 U_{ш} I_n \quad (54)$$

где $U_{ш}$ – номинальное напряжение принимаемых к установке конденсаторов;

I_n – расчетные величины токов высших гармоник.

$$Q_0^3 = \sqrt{3} \cdot 1,3 \cdot 220 \cdot 43 = 21,301 \text{ МВАр},$$

$$Q_0^5 = \sqrt{3} \cdot 1,3 \cdot 220 \cdot 43,459 = 21,528 \text{ МВАр},$$

$$Q_0^7 = \sqrt{3} \cdot 1,3 \cdot 220 \cdot 44,2 = 21,895 \text{ МВАр}.$$

Принятая мощность батарей конденсаторов

$$Q_A^3 = 18 \text{ МВАр},$$

$$Q_A^5 = 18 \text{ МВАр},$$

$$Q_A^7 = 18 \text{ МВАр}.$$

Расчет коэффициента эффективности поглощения гармоник для принятой батареи конденсаторов

$$K_p = \frac{Q_A^3}{S_{КЗ}} \quad (55)$$

$$K_p \geq 0,1 \cdot 10^{-2}$$

$$K_p = \frac{18}{10000} = 0,001$$

Расчет коэффициента a_p , характеризующего увеличение напряжения основной частоты на конденсаторах в сравнении с напряжением на шинах подстанции

$$a_p = \frac{n^2}{n^2 - 1} \quad (56)$$

$$a_p = \frac{3^2}{3^2 - 1} = 1,125$$

Расчет коэффициента K_U , характеризующего запас по напряжению конденсаторов с учетом номинального напряжения батарей и расчетного напряжения сети

$$K_U = \frac{U_{ш}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.к}} \quad (57)$$

где $U_{н.к}$ – номинальное напряжение принимаемых к установке конденсаторов.

$$K_U = \frac{220}{\sqrt{3} \cdot 220} = 0,57$$

Проверка БК на отсутствие перенапряжения

$$a_p K_U \leq 1$$

$$1,125 \cdot 0,88 \leq 1$$

2) Выбор реактора

Определение емкостного сопротивления фазы батареи конденсаторов

$$X_c = \frac{3 \cdot U_{н.к}}{\sqrt{3} \cdot Q_{БК}} \quad (58)$$

$$X_{c5} = \frac{3 \cdot 220}{\sqrt{3} \cdot 18} = 80,66 \text{ Ом.}$$

$$X_{p5} = \frac{X_{c5}}{n^2} \quad (59)$$

$$X_{p5} = \frac{80,6}{5^2} = 3,227 \text{ Ом.}$$

Выбираем фильтры:

на ПС Амурская: Ф3-220-15000; Ф5-220-15000; Ф7-220-15000;

на ПС Завитая: Ф3-220-18000; Ф5-220-18000; Ф7-220-18000 [42].

Подробный расчёт фильтров для ПС Амурская и ПС Завитая представлен в приложении В.

2.4 Расчёт коэффициентов гармонических составляющих напряжений участка сети с фильтром

После установки фильтров на ПС Амурская и ПС Завитая проведем расчёт несинусоидальности участка сети.

Подробный расчет значения суммарного коэффициента гармонических составляющих участка сети с фильтрами рассмотрен в приложении Г.

В таблице 19 приведены результаты расчётов токов ВГ на ПС Амурская и ПС Завитая.

Таблица 19– Результаты расчётов токов ВГ после установки фильтров

Ток гармоники I_n, A			
Номер гармоники n	3	5	7
ПС Амурская	20,93	24,425	30,02
ПС Завитая	14,392	17,1	21,243

Из таблицы видно, что после установки ФКУ токи ВГ на ПС Завитая и ПС Амурская значительно снизились, а значит, снизилось и напряжение гармоник.

Ниже приведена сравнительная таблица нормируемых и полученных значений коэффициента гармонических составляющих.

Таблица 20 – Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения до и после установки фильтров

Название ПС	Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_{Σ} , %	
	Без фильтров	С фильтрами
ПС Амурская	3,8	1,9
ПС Завитая	3,6	1,9

Из таблицы наглядно видно, что фактическое расчетное значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения соответствует нормируемому значению, установленные ГОСТ 32144-2013[10].

После установки фильтров на ПС Завитая и ПС Амурская значительно снизились токи высших гармоник. Это, в свою очередь, привело к снижению и напряжения гармоник. Значение суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения уменьшилось и соответствует нормируемому значению.

Из этого следует вывод, что выбранное техническое средство благоприятно повлияло на улучшение качества электрической энергии рассматриваемого участка электрической сети ПС Амурская – ПС Завитая.

3 ВЛИЯНИЕ НИЗКОГО КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И НАДЁЖНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Качество электроэнергии является одной из важных составляющих надёжности и эффективности электроснабжения потребителей. Ухудшение качества электрической энергии приводит к увеличению потерь электроэнергии и обуславливает ежегодные ущербы от перерыва электроснабжения.

Как видно не все показатели качества электроэнергии на рассматриваемом участке электрической сети соответствуют нормам ГОСТ. Рассмотрим как низкие показатели КЭ влияют на потери и надёжность рассматриваемого участка электрической сети.

Для этого решим следующие задачи:

- проведём расчёт потерь в сети, обусловленных низким качеством электроэнергии, с учётом влияния токов ВГ;
- проведём расчёт надёжности рассматриваемого участка сети и определим ущерб от перерыва электроснабжения.

3.1 Расчёт потерь в сети, обусловленные низким качеством электроэнергии

Низкое качество электроэнергии приводит к увеличению как технических, так и метрологических ее потерь. Проведем расчёт технических потерь электроэнергии, обусловленных низким ее качеством[60].

Потери в силовых трансформаторах с учетом влияния токов ВГ определяются по выражению[56]

$$\Delta P_{CT_n} = 3 \sum_{n=2}^m I_n^2 R_{кз} k_n \quad (60)$$

где $R_{кз}$ – сопротивление короткого замыкания силового трансформатора при промышленной частоте;

k_n – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления короткого замыкания для ВГ вследствие влияния поверхностного эффекта и эффекта близости $k_3 = 2; k_5 = 2,1; k_7 = 2,5; k_{11} = 3,2; k_{13} = 3,7$ [56].

Подробный расчёт представлен в приложении Д, результаты сведены в таблице 21.

Таблица 21 – Результаты расчёта потерь в СТ, обусловленных низким качеством электроэнергии

	n	Без фильтра		С фильтром	
		ПС Завитая	ПС Амурская	ПС Завитая	ПС Амурская
$\Delta P_{СТn}$, МВт	3	0,043	0,019	$3,542 \cdot 10^{-3}$	$1,84 \cdot 10^{-3}$
	5	0,045	0,021	$5,25 \cdot 10^{-3}$	$2,631 \cdot 10^{-3}$
	7	0,055	0,025	$9,646 \cdot 10^{-3}$	$4,731 \cdot 10^{-3}$
ΣP , МВт		0,142	0,066	0,018	$9,202 \cdot 10^{-3}$

Суммарные потери от токов высших гармоник в силовых трансформаторах составляют:

-на ПС Амурская – $0,004 \Delta W$ (0,4% от суммарных потерь);

-на ПС Завитая – $0,009 \Delta W$ (0,9% от суммарных потерь).

Суммарные потери от токов высших гармоник в силовых трансформаторах после установки фильтров составляют:

-на ПС Амурская – $0,0005 \Delta W$ (0,05% от суммарных потерь);

-на ПС Завитая – $0,001 \Delta W$ (0,11% от суммарных потерь).

Потери в линии электропередачи с учетом влияния токов ВГ определяются по выражению

$$\Delta P_{ЛЭП_n} = 3 \sum_{n=2}^m I_n^2 R k_{Rn} \quad (20)$$

где k_{Rn} – коэффициент увеличения активного сопротивления за счет высших гармоник [19].

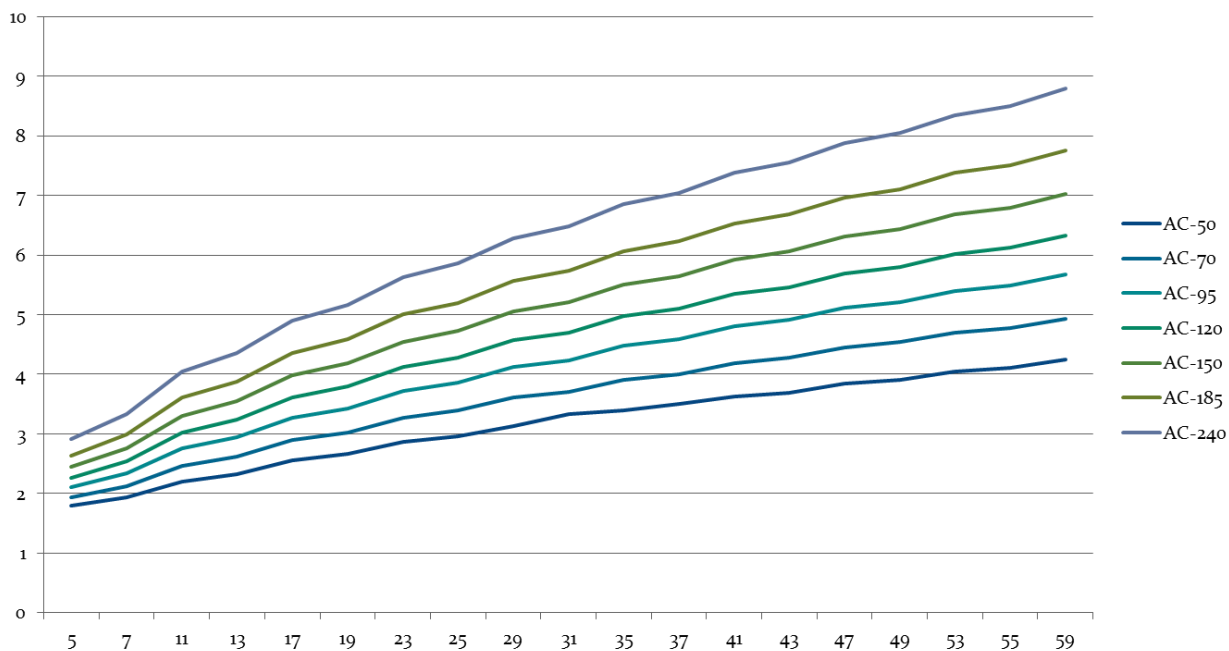


Рисунок 25 – Зависимость коэффициента увеличения активного сопротивления ВЛ от номера высшей гармоники

Подробный расчёт представлен в приложении Д, результаты сведены в таблице.

Таблица 22 – Результаты расчёта потерь в ЛЭП, обусловленных низким качеством электроэнергии

Номер гармоники, <i>n</i>	Без фильтра		С фильтром	
	ПС Белогорск/г – ПС Хвойная	ПС Амурская – ПС М.Чесноковская/г	ПС Белогорск/г – ПС Хвойная	ПС Амурская – ПС М.Чесноковская/г
3	0,207	$4,798 \cdot 10^{-3}$	0,038	$1,267 \cdot 10^{-3}$
7	0,231	$5,275 \cdot 10^{-3}$	0,042	$1,276 \cdot 10^{-3}$
5	0,289	$6,955 \cdot 10^{-3}$	0,052	$1,565 \cdot 10^{-3}$
$\Sigma P, \text{МВт}$	0,726	0,017	0,132	$4,694 \cdot 10^{-3}$

Суммарные потери от токов высших гармоник в ЛЭП составляют:

-на ВЛ ПС Белогорск/т – ПС Хвойная – $0,004\Delta W$ (0,4% от суммарных потерь);

- на ВЛ ПС Амурская – ПС М. Чесноковская/т – $0,005\Delta W$ (0,5% от суммарных потерь).

Суммарные потери от токов высших гармоник в ЛЭП после установки фильтров составляют:

-на ВЛ ПС Белогорск/т – ПС Хвойная – $0,0005\Delta W$ (0,05% от суммарных потерь);

- на ВЛ ПС Амурская – ПС М. Чесноковская/т – $0,00038\Delta W$ (0,038% от суммарных потерь).

Исследования влияния низкого качества электроэнергии на потери электроэнергии показали, что на рассматриваемом участке с мощными источниками ВГ тяговые подстанции появляются дополнительные потери от токов ВГ.

В результате потери на рассматриваемом участке сети больше 4%, а это уровень потерь в развитых странах. При этом потери в ЛЭП ПС Амурская – ПС М. Чесноковская/т и ВЛ ПС Амурская – ПС М. Чесноковская/т и в силовых трансформаторах на ПС Амурская и ПС Завитая после установки фильтров уменьшились.

Из выше сказанного следует, что установка фильтров уместна, так как установка фильтров приводит к уменьшению токов гармоник и уменьшению дополнительных потерь от токов высших гармоник.

3.2 Расчет надёжности электроснабжения рассматриваемого участка сети

Надёжность – это свойство объекта или технического устройства выполнять заданные функции, сохраняя при этом значения установленных эксплуатационных показателей (номинальные или паспортные данные) [61].

Надёжность ЭЭС определяется:

надежностью ее отдельных элементов (трансформаторов, линий электропередачи, коммутационных аппаратов, устройств защиты и автоматики и др.),

надежностью схемы (степенью резервирования),

надежностью режима (запасами статической и динамической устойчивости),

живучестью системы, т.е. способностью выдерживать системные аварии цепочечного характера без катастрофических последствий, или, без перерывов электроснабжения потребителей, не подключенных к системе автоматической частотной разгрузки (АЧР) [28].

Основными характеристика надёжности являются безотказность, долговечность и работоспособность как системы в целом, так и отдельных объектов в частности.

Надежность электроснабжения определяется:

- 1) принятой схемой электроснабжения;
- 2) надежностью используемого в ней энергетического оборудования и технических устройств;
- 3) уровнем эксплуатации.

Надежность электроснабжения оценивается:

- 1) частотой и средней продолжительностью нарушений электроснабжения потребителей;
- 2) относительной величиной аварийного резерва, необходимого для обеспечения заданного уровня бездефицитной работы энергосистемы и ее отдельных узлов.

Сформулируем три основные практические задачи анализа надежности ЭС и ЭЭС:

- 1) оценка показателей надежности для существующих и создаваемых установок или оборудования;
- 2) обеспечение заданного уровня надежности оборудования и установок;

3)выбор технических решений и оптимизация уровня надежности.

Решение основных задач надежности ЭЭС предусматривает достижение оптимального соотношения между затратами на производство, передачу и распределение электроэнергии и технико-экономическими последствиями от недоотпуска электроэнергии, для чего необходимо достоверное прогнозирование показателей надежности электрических станций, электрических систем и узлов электропотребления [75].

Упрощенная схема замещения для расчёта надёжности с учётом точки потокораздела рассматриваемого участка представлена на рисунке 24.

В данной работе проведен расчёт надежности внешнего электроснабжения рассматриваемого участка сети ПС Амурская – ПС Завитая, оценив ущерб, нанесенный потребителям перерывом в электроснабжении, убытки, связанные с аварийным ремонтом.

Параметрами, характеризующими вероятность отключения элементов сети, являются[28]:

параметр потокоотказов ω (1/год),

среднее время восстановления t_v (час),

частота преднамеренных отключений $\mu_{пл}$ (1/год),

среднее время преднамеренных отключений $t_{пр}$ [2].

Исходные данные по элементам [7] сводятся в таблицу 17.

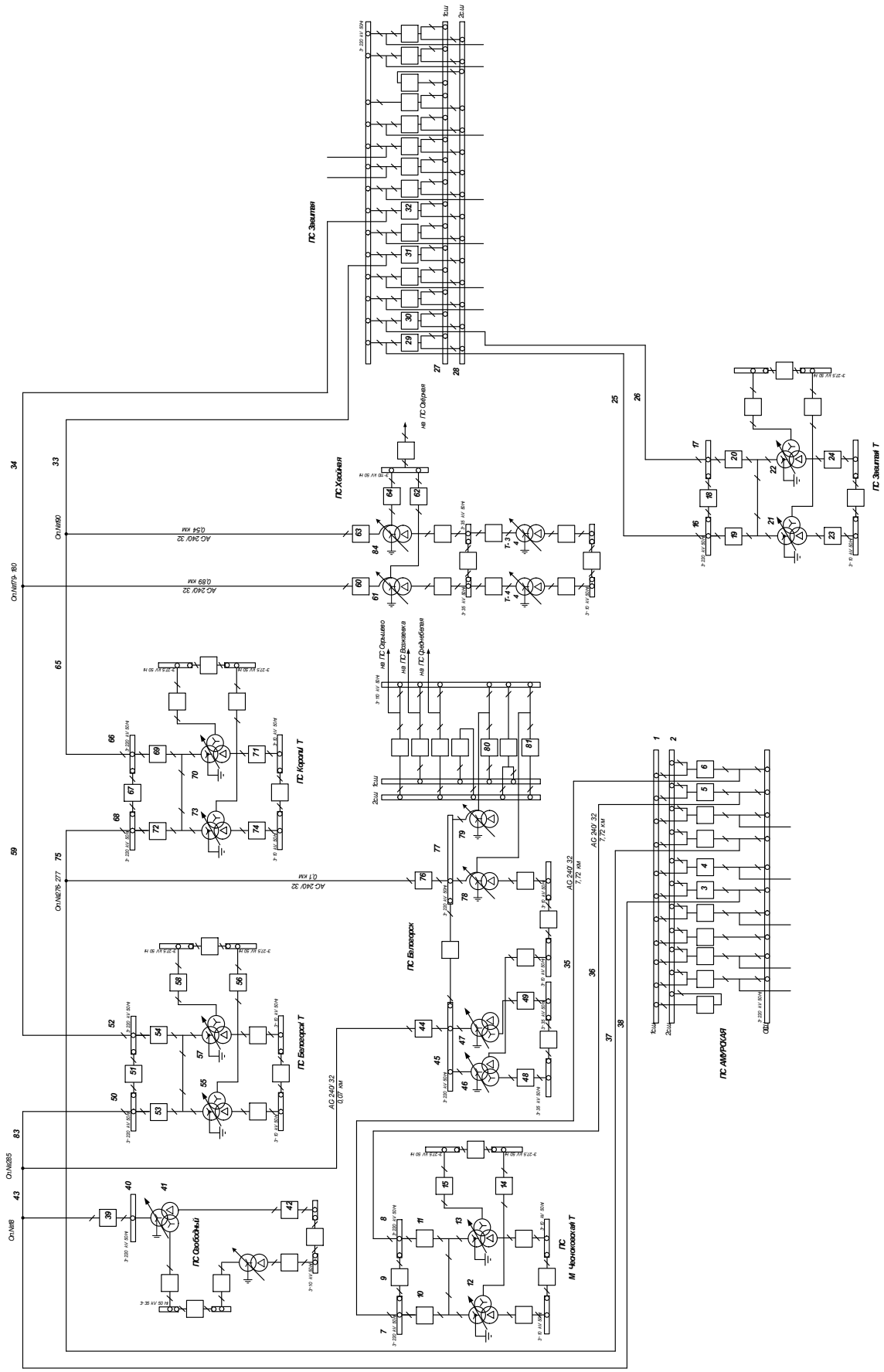


Рисунок 26 – Исходная схема участка сети

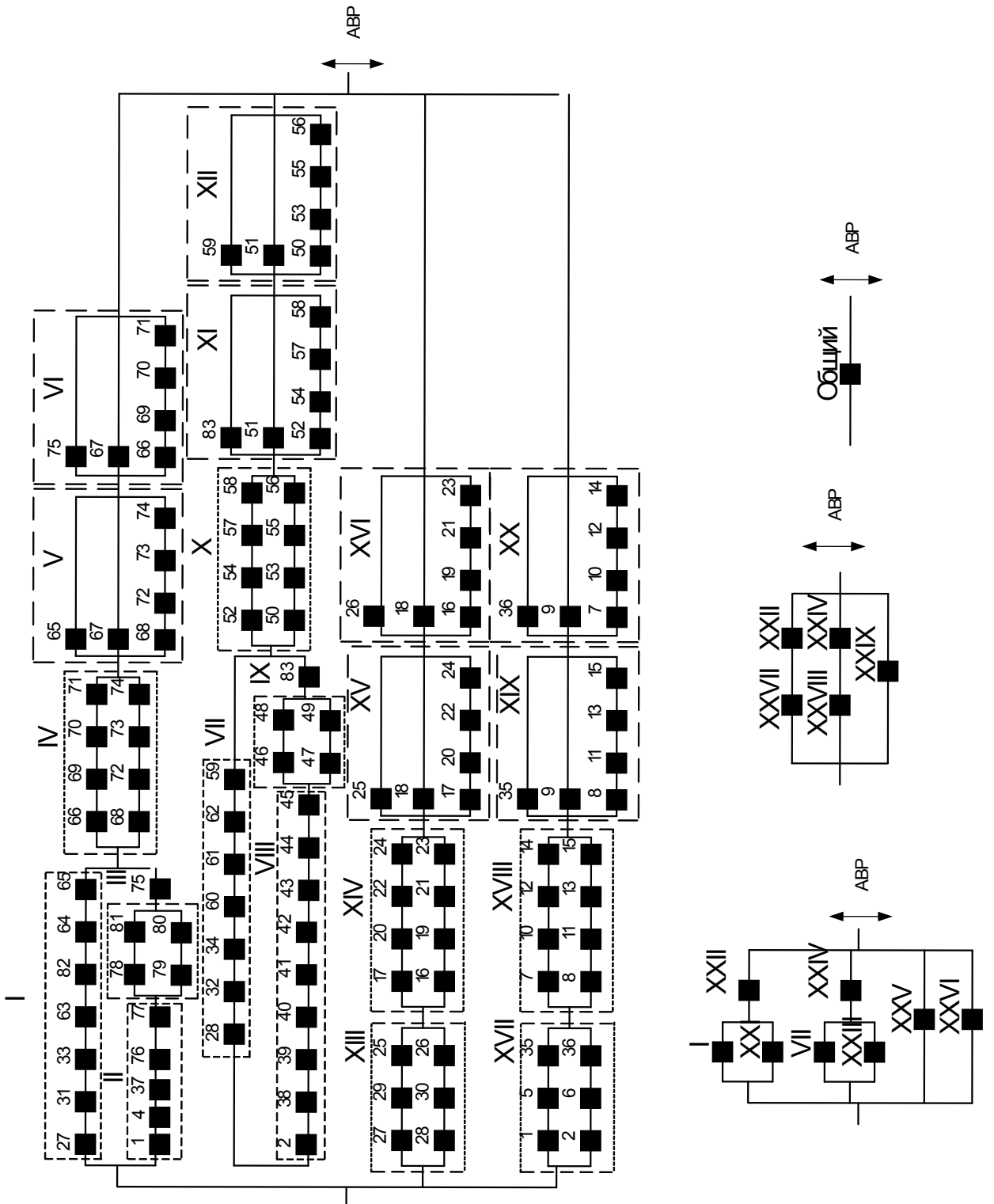


Рисунок 27 – Схема замещения с учётом АВР

Таблица 23 – Показатели надежности элементов для упрощенной схемы

Элемент	Параметр потока отказов ω , 1/год	Среднее время восстановления $t_{в}$, час	Частота плановых и преднамеренных отключений $\mu_{пл}$, 1/год	Время плановых и преднамеренных отключений $t_{пр}$, час
Выключатель 220 кВ	0,004	55	0,2	15
Сборные шины 220 кВ (на одно присоединение)	0,013	5	0,17	3
Воздушная линия 220 кВ (на 100 км)	0,4	9	1,8	24
Трансформатор 220 кВ (от 10 до 80 МВт)	0,035	60	0,75	28

Время восстановления задано в часах, его нужно выразить в годах, т.к. ω имеет размерность 1/год, т.е. [61]

$$t'_в = \frac{t_в}{8760} \quad (61)$$

$$t'_{np} = \frac{t_{np}}{8760} \quad (62)$$

Эквивалентуем схему замещения до одного элемента и находим для него показатели надёжности:

- параметр потока отказа ω_c ;
- коэффициент вынужденного простоя $K_{п.с.}$;
- коэффициент готовности $K_{г.с.}$;
- время восстановления $t_{вс}$ [28].

Средняя вероятность состояния отказа системы:

$$q_c = K_{п} = 2,297 * 10^{-3}$$

Определение вероятности отказа всей сети с учётом АВР:

$$q_{cABP} = q_c \cdot (1 - q_{ABP}) \cdot (1 - q_{ДЗТ}) + 0,5 \cdot (1 - q_{ABP}) \cdot q_{АДЗТ} + 0,5 \cdot q_c \cdot (1 - q_{ДЗТ}) \cdot q_{ABP} + 0,5 \cdot q_{ABP} \cdot q_{ДЗТ} \quad (63)$$

$$q_{cABP} = 1,532 \cdot 10^{-3}$$

Расчетное время безотказной работы:

$$T_P = \frac{0,105 \cdot T_\Gamma}{\omega_{норм}} = 6400 \text{ года}$$

Среднее время восстановления системы по формуле:

$$t_{BC} = \frac{K_{ПС} \cdot T_2}{\omega_c} \quad (64)$$

$$t_{BC} = \frac{1,532 \cdot 10^{-3}}{0,16} \cdot 8760 = 41 \text{ час}$$

Средний недоотпуск электроэнергии в год:

$$W_{НЕД} = K_{ПС} \cdot P_{треб} \cdot 8760 \quad (65)$$

$$W_{НЕД} = 4,837 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 8760 = 63,554 \text{ МВт*ч}$$

Ущерб от перерыва электроснабжения:

$$Y = Y_0 \cdot W_{НЕД} \cdot t_{ec} \cdot 10^{-3} + (Y_0 + \frac{Y_{осн}}{t_{ec}}) \cdot W_{НЕД} \cdot t_{ec} \cdot 62,2 \cdot 10^{-3} \quad (66)$$

$$Y = 0,15 \cdot 6040 \cdot 41 \cdot 10^{-3} + (0,15 + \frac{0,7}{41}) \cdot 6040 \cdot 41 \cdot 62,2 \cdot 10^{-3} = 2,326 \cdot 10^6 \text{ руб.}$$

При отказе всего рассматриваемого участка сети ущерб от перерыва электроснабжения составит $2,326 \cdot 10^6$ рублей. Подробный расчёт надёжности рассматриваемого участка сети представлен в приложении Е.

4 ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Экономическое обоснование внедрения технических средств в настоящее время находится на первом месте по своей важности.

В данной работе предложенное мероприятие – установка силовых резонансных фильтров для улучшения качества электрической энергии на участке электрической сети ПС Амурская – ПС Завитая.

Целью данного раздела магистерской диссертации является оценка экономической эффективности инвестиций в электрическую сеть.

Капиталовложение на внедрение фильтров вычисляются по формуле:

$$K = 3 * K_{\phi 15} + 3 * K_{\phi 18} \quad (67)$$

где – капиталовложение на внедрение в фильтры на ПС Амурская; $K_{\phi 15}$

$K_{\phi 18}$ – капиталовложение на внедрение в фильтры на ПС Завитая.

$$K = 3 * 582,6 + 3 * 860 = 4328 \text{ тыс.руб.}$$

Цены на оборудование взяты из каталога товаров Энергозапад [41].

Издержки находят по формуле:

$$I = I_{AM} + I_{Э.Р} + I_{\Delta W} \quad (68)$$

где I_{AM} – амортизационные отчисления на реновацию;

$I_{Э.Р}$ – издержки на ремонт и эксплуатационное обслуживание;

$I_{\Delta W}$ – затраты на передачу электроэнергии;

Издержки на эксплуатацию и ремонт определяются по формуле:

$$I_{Э.Р} = \alpha_{тэоф} \cdot K \quad (69)$$

где $\alpha_{тэо}$ – нормы ежегодных отчислений на ремонт и эксплуатацию [74].

$$I_{\Delta P} = 0,0085 \cdot 4328 = 36,786 \text{ тыс.руб.}$$

Издержки стоимости потерь электроэнергии в сети [24]:

$$I_{\Delta W} = \Delta W \cdot C_{\Delta W} \quad (70)$$

где - потери электроэнергии, кВт $\Delta W \cdot \text{ч}$;

$C_{\Delta W}$ – стоимость потерь 1 МВт \cdot ч электроэнергии, стоимость потерь составляет 1,603 тыс.руб/ МВт \cdot ч [71].

$$I_{\Delta W} = 15,95 \cdot 1,603 = 17,52 \text{ тыс.руб.}$$

Потери электроэнергии определяются по эффективным мощностям и включают в себя потери в ВЛЭП, трансформаторах и компенсирующих устройствах. В данном расчёте потери в сети определялись расчётом соответствующего режима в ПВК RastrWin.

Амортизационные отчисления на реновацию[58]:

$$I_{AM} = \frac{K_{ПС}}{T_{сл.пс}} + \frac{K_{ВЛ}}{T_{сл.вл}}, \quad (71)$$

где K – суммарные капиталовложения в соответствующее оборудование;
 $T_{сл}$ – срок службы соответствующего оборудования.

$$I_{AM} = \frac{4328}{20} = 216,39 \text{ тыс.руб.}$$

$$I_{\Sigma} = 216,39 + 36,786 + 17,52 = 270,696 \text{ тыс.руб.}$$

Приведенные затраты определяются по формуле:

$$Z = E \cdot K + I \quad (72)$$

где E – норматив дисконтирования ($E = 0,1$);

K – капитальные вложения, необходимые для сооружения электрической сети;

I – эксплуатационные издержки.

$$Z = 0,1 \cdot 4328 + 270,696 = 117,2 \text{ млн. руб.}$$

Основной задачей стоимостной оценки результатов деятельности инвестиционного проекта является оценка выручки от реализации проекта. Для реконструкции объекта такая оценка не представляет затруднений и определяется в зависимости от объемов продаж электроэнергии потребителю в год t по формуле [58]:

$$O_{Pt} = W_t \cdot \sum_{i=1}^N T_i \cdot D_i, (73)$$

где – полезно отпущенная потребителю электроэнергия; W_t

N – количество потребителей;

T_i – одноставочный тариф для i -го потребителя, тыс.руб/кВт·ч [29];

D_i – доля i -го ЭП в годовом потреблении, о.е.

$$O_{Pt} = 300 \cdot 2,46 \cdot 1 = 11720 \text{ тыс.руб.}$$

Величина прибыли после вычета налогов ($\Pi_{чt}$) численно равна прибыли от реализации ($\Pi_{бt}$) за вычетом выплачиваемых налогов на прибыль:

$$\Pi_{чt} = \Pi_{бt} - H_t = O_{Pt} - I_t - H_t; (74)$$

где O_{Pt} – стоимостная оценка результатов без НДС;

I_t – суммарные эксплуатационные издержки в год.

Прибыль от реализации продукции определится:

$$\Pi_{бt} = O_{Pt} - I_t; (75)$$

$$\Pi_{бt} = 11720 - 54,306 = 11230 \text{ тыс. руб.}$$

Определяем ежегодные отчисления налога на прибыль:

$$H_t = 0,2 \cdot (\Pi_{\text{от}}); (76)$$

$$H_t = 0,24 \cdot 11230 = 2696 \text{ тыс. руб.}$$

Прибыль от реализации после вычета налога:

$$\Pi_{\text{чт}} = 11230 - 2696 = 8538 \text{ тыс. руб.}$$

Чистый дисконтированный доход рассчитывается дисконтированным чистого потока платежей \mathcal{E}_t , который определяется как разность между притоками и оттоками денежных средств (без учета источников финансирования) [22]:

$$\mathcal{E}_t = O_{pt} - I_t - H_t - K_t = \Pi_{\text{ч.т}} + I_{\text{м.т}} - K_t, \quad (77)$$

Расчетный период принимаем равным $T_p = 20$ лет.

Сумма дисконтированных чистых потоков платежей – чистый дисконтированный доход (ЧДД) определяется следующим образом:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^{T_p} \mathcal{E}_t \cdot \frac{1}{(1+d)^t}; (78)$$

где $d = 12\%$ – коэффициент дисконтирования.

Инвестирование капиталовложений в реконструкцию сетей 3 года.

Результаты расчёта ЧДД представлены на рисунках 27.

Результаты расчёта ЧДД показали, что ввод технических средств, установка силовых резонансных фильтров на ПС Амурская и ПС Завитая окупается через 5 лет.



Рисунок 28 – График ЧДД

Проведём расчёт чистого дисконтированного дохода с учётом ущерба от перерыва электроснабжения.

Прибыль от реализации после вычета налога:

$$П_{\text{чт}} = 11230 - 2696 - 2326 = 6212 \text{ тыс. руб.}$$

Результаты расчёта ЧДД представлены на рисунках 28.



Рисунок 29 – График ЧДД с учётом ущерба от перерыва электроснабжения

Результаты расчёта ЧДД с учётом ущерба от перерыва электроснабжения показали, что ввод технических средств, установка силовых резонансных фильтров на ПС Амурская и ПС Завитая окупается через 7 лет.

Рентабельность инвестиций рассчитываются по каждому году расчётного периода после начала эксплуатации электросетевого объекта или только по некоторым характерным годам. В качестве характерных рассматриваются: год после выхода на режим нормальной эксплуатации, но с выплатой заемных средств и с финансовыми издержками, а также в период после выплаты всей суммы кредита и процентов. В нашем случае считаем, что объект построен без заёмных средств. Рентабельность инвестиций определяется по формуле [58]:

$$R_t = \frac{\mathcal{E}_t - I_t - H_t}{K}, \quad (79)$$

где K – капитальные затраты;

– системный эффект, обусловленный вводом объекта в год \mathcal{E}_t ;

– общие годовые издержки без учёта затрат на амортизацию; I_t ,

H_t – налог на прибыль.

Рентабельность в год после выхода на режим нормальной эксплуатации:

$$R_t = \frac{4426 - 54,306 - 2696}{4328} \cdot 100 = 33,7\%$$

Внутренняя норма доходности:

$$E_g = 0,227, \text{ при значениях ЧДД становится отрицательным. } E_g \geq 0,227$$

Значение внутренней нормы доходности больше чем норма дисконта $0,227 > 0,12$, это означает, что ввод технических средств является эффективным для функционирования рассматриваемого участка электрической сети. Ввод технических средств окупается вначале пятого года, т.е. на втором году эксплуатации, а рентабельность составляет 33,7 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной магистерской диссертации рассмотрены вопросы качества электроэнергии на участке сети ПС Амурская – ПС Завитая с тяговой нагрузкой.

В ходе выполнения работы был проведён структурный и режимный анализ существующей электрической сети. Выявлены проблемные места с точки зрения качества поставляемой электроэнергии из сети внешнего электроснабжения. Установлена необходимость применения мер, способных обеспечить нормативный уровень показателей качества электроэнергии.

Предложены технические средства для улучшения качества электрической энергии. Проведен выбор и расчёт фильтров.

После установки фильтров пришли к выводу, что предложенное техническое средство позволит обеспечить электроприёмники качественной электроэнергией с должным уровнем надежности.

В диссертации просчитана надёжность и потери, связанные с плохим качеством электроэнергии. Исследование показывает, что после улучшения качества электрической энергии на рассматриваемом участке сети с мощным источником ВГ тяговые ПС, потери значительно уменьшились. Проведен расчёт ущерба от перерыва электроснабжения.

Также рассчитана экономическая эффективность инвестиций, и обосновано внедрение технических средств в электрическую сеть. Определены оптимальные экономические затраты. Расчёт показал, что ввод технических средств является эффективным для рассматриваемого участка электрической сети и окупается через 5 лет.

Таким образом, в магистерской диссертации доказана необходимость в улучшении качества электроэнергии на рассматриваемом участке электрической сети с тяговой нагрузкой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Анохин, Б.А. Анализ уровней несимметрии и отклонений напряжения в протяженной сети при питании тяговой нагрузки // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, 2012г. – 400с .
- 2 Борисов В.П., Вагин Г.Я., Электроснабжение электротехнологических установок. К.: Наукова думка, 1985. – 184 с.
- 3 Веников В.А., Идельчик В.И., Лисеев М.С. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 216 с.
- 4 Висящев А.Н. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах: в 2-х частях. – Иркутск, 1997. – ч.1 – 91 с., ч.2 – 92 с.
- 5 Воропай, Н.И. Надежность систем электроснабжения. Конспект лекций: - Новосибирск: Наука, 2006. – 205 с.;
- 6 Гаврилов, Ф.А. Качество электрической энергии / Ф.А. Гаврилов. - Приазовский ГТУ, 2007 г. - 96 с.
- 7 Герасимов, В.Г. Электротехнический справочник Т. 3 / В.Г. Герасимов, П.Г. Грудинский и др. – М. : Энергоатомиздат, 2004. – 964 с.;
- 8 ГОСТ 30804.4.7 – 2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств. – Введ. 2014 – 01 – 01. – М.: 34 с.
- 9 ГОСТ 30804.3.11 – 2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Колебания напряжения и фликер, вызываемые техническими средствами с потребляемым током не более 75 А (в одной фазе), подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения при определенных условиях. Нормы и методы испытаний.
- 10 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической

энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014 – 07 – 01. – М.: 20 с.

11 ГОСТ 32145 - 2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»;

12 Долгов, А.П. Кандаков С.А., Осадчев М.А. Повышение качества электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог Восточной Сибири // Управление, информация и оптимизация в электроэнергетических системах: Тез . докл. Между-нар. молодежной научно-техн. конф. - Новосибирск, 21-24 сентября 2011. - С. 70.

13 Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий [Текст] / И. В. Жежеленко – М.: Энергоатомиздат, 2010. - 375 с.

14 Жежеленко, И.В., Божко В.М., Рабинович М.Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – Киев: Высшая школа, 1986. – 120 с.

15 Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях [Текст] / Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. – М.: Энергоатомиздат. 2000. – 252 с.

16 Железко, Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.

17 Железко, Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электрической энергии : Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. – М. : ЭНАС, 2009. – 456 с.

18 Журнал «ЭЛЕКТРО» 3/2007 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.elektro-journal.ru> – 01.04.2017 г.

19 Зыкин Ф.А. Определение степени участия нагрузок в снижении качества электроэнергии // Электричество. 1992. № 11. с. 13-19.

20 Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии в системах электроснабжения промпредприятий. М.: Энергоатомиздат. 1987. – 336 с.

21 Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288с.

22 Идельчик, В.И. Электрические системы и сети : учеб.пособие / В.И. Идельчик. – М. : Энергоатомиздат, 2009. – 592 с.

23 Казакул, А.А. Алгоритмы задач электроэнергетики: Методические указания по выполнению лабораторных работ/ сост.: А.А. Казакул. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014.- 133с.

24 Казакул, А. А. Оптимальное управление потоками реактивной мощности в распределительных электрических сетях в условиях неопределенности : автореф. диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / А. А. Казакул. – Иркутск, 2012. – 23 с.;

25 Карташев, И.И. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 120 с.

26 Карташев, И.И., Пономарев И.С., Ярославский В.Н. Требования к средствам измерения показателей качества электроэнергии // Электричество. 2000. № 4. с. 11-18.

27 Килина, Н. А. Контроль показателей качества электроэнергии в электрических сетях / Н.А. Килина // Современные проблемы науки. Материалы Российской национальной научной конференции с международным участием (22 декабря 2017г.). – 2017. – Часть I. – Благовещенск Амурский гос.ун-т. – С.86-87.

28 Китушин, В.Г. Надежность энергетических систем: Учеб. Пособие для электроэнергет. Спец. Вузов. – М.: Высш.шк., 1984. – 256 с.

29 Козлов А.Н. Графическая часть курсовых и дипломных проектов: Учебно-методическое пособие/ А.Н. Козлов, В.А. Козлов, Ю.В.Мясоедов. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007.

30 Кожевников, Н.Н. Экономика промышленности: учеб. пособие для вузов: в 3 т. / Н.Н. Кожевников, Т.Ф. Басова, Н.С. Чинакаева [и др.] ; под ред. А.И. Баранского, Н.Н. Кожевникова, Н.В. Пирадовой. – М.: Издат. МЭИ, 1998. – Т. 2., Кн. 2. – 368 с.

31 Кузнецов В.Г., Шидловский А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях. – Киев: Наукова думка, 1985. – 268 с.

32 Курбацкий В.Г. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость в электрических сетях. – Братск: БрГТУ, 1999. – 220 с.

33 Ладанов А.С., Зацепин Е.Н., Захаров К.Д. Влияние качества электроэнергии на показания счетчиков // Пром. энергетика. – 2004. - № 5. – с. 40-43.

34 Мамошин, Р.Р. Повышение качества электроэнергии на тяговых подстанциях дорог переменного тока. – М.: Транспорт, 1973. – 224 с.

35 Методические рекомендации по проектированию развития энергосистем СО 153-34.20.118-2003

36 Наумкин, И.Б. Влияние нелинейной нагрузки на качество электроэнергии. / И.Б. Наумкин, И.Н. Паскарь, В.М. Завьялов. Статья в журнале «Кубанский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», №4(110) / 2015. – 75-82 с.

37 Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б.Н. Неклипаев, И.П. Крючков. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

38 НТЦ ФСК ЕЭС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ntc-power.ru> – 05.12.2017.

39 Основные задачи и виды контроля качества электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://torus.pp.ua/manuals/power/> – 28.04.2017 г.

40 Официальный сайт Дальневосточный энергопотребитель [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dalenergy.ru> – 10.04.2018 г.

41 Официальный сайт РАО Энергетические Системы Востока [Электронный ресурс]. – Режим доступ : <http://museum.rao-esv.ru>– 25.04.2017г.

42 Официальный сайт РусГидро [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.burges.rushydro.ru> – 25.04.2017г.

43 Официальный сайт Энергозапад [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energozapad.ru/>– 10.05.2018 г.

44 Официальный сайт Эн-про [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.en-pro.ru> – 05.04.2017 г.

45 Официальный сайт RastrWin [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http:// www.rastrwin.ru](http://www.rastrwin.ru) – 15.10.2017г.

46 Официальный сайт RTSoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rtsoft.ru> – 10.04.2017 г.

47 Оценка эффективности контроля качества электроэнергии в ЭЭС / В.С. Мозгалев, В.А. Богданов и др. // Электр. станции. 1999. № 6. с. 58-61.

48 Правила устройства электроустановок (шестое и седьмое издание с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.02.2015): ПУЭ. – М: КНОРУС, 2015. – 488 с.

49 Поспелов Г.Е. Компенсирующие и регулирующие устройства в электрических системах / Г.Е. Поспелов, Н.М. Сыч, В.Т. Федин. Л.: Энергоатомиздат, 1983.112 с.

50 Поспелов, Г. Е. Потери мощности и энергии в электрических сетях [Текст] / Г. Е. Поспелов, Н. М. Сыч. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 216 с.

51 Поспелов Г.Е. Электрические системы и сети: проектирование : учеб. пособие / Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин. - 2-е изд., испр. и доп. - Минск : Высш. шк., 1988. - 308 с.

52 Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем [Текст] / под ред. В. Н. Казанцева. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.

53 Ратнер М.П., Могилевский Е.Л. Электроснабжение тяговых потребителей железных дорог. – М.: Транспорт, 1985. – 295 с. Ратнер М.П.,

Могилевский Е.Л. Электроснабжение тяговых потребителей железных дорог. – М.: Транспорт, 1985. – 295 с.

54 Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. – М.: Энергоатомиздат, 2013. – 648 с.

55 Розанов М.Н. Управление надежностью электроэнергетических систем. – Новосибирск: Наука, 1991. – 208 с.

55 Руденко Ю. Н., Ушаков И. А. Надежность систем энергетики. – М.: Наука, 1989. – 328 с.

56 Савина, Н.В. Качество электроэнергии: Учебное пособие / Н.В. Савина. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2014. – 182 с.

57 Савина, Н.В. Методы расчёта и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях: Учебное пособие / Н.В. Савина. – Благовещенск, Издательство АмГУ, 2014. – 150 с.

58 Савина, Н.В. Применение теории вероятностей и методов оптимизации в системах электроснабжения: учебное пособие. – Благовещенск: Изд - во АмГУ, 2007. – 271 с.

59 Савина, Н.В. Проектирование развития электроэнергетических систем и электрических сетей: методические указания к курсовому проектированию / Н.В. Савина. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. – 46 с.

60 Савина, Н. В. Результирующая погрешность измерительного комплекса электроэнергии при ухудшении ее качества [Текст] / Н. В. Савина, М. А. Сухомесов // Электрические станции. – 2008. – № 6. – С. 48–54.

61 Савина, Н. В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях [Текст] : моногр. / Н. В. Савина ; отв. ред. Н. И. Воропай. – Новосибирск : Наука, 2008. – 228с. – 500 экз. – ISBN 978–5–02–023222–8.

62 Савина, Н.В. Теория надежности в электроэнергетике. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2007. – 213 с.

63 Савина, Н.В. Управление потоками реактивной мощности в активно-адаптивных электрических сетях: Учебное пособие / Н.В. Савина. – Благовещенск, Издательство АмГУ, 2013. – 61 с.

64 Савина, Н. В. Эквивалентирование активных и реактивных сопротивлений при несинусоидальных и несимметричных режимах [Текст] / Н. В. Савина, Ю. В. Мясоедов // Problemy elektroenergetyki : III Miedzynarodowe seminari-um. – Lodz, 2002. – P. 129–135.

65 Савина, Н.В. Электроэнергетические системы и сети: учеб.-метод. комплекс для спец. 140203, 140204, 140205/ АмГУ, Эн.ф.; сост. Н. В. Савина. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. -242 с.

66 Солдаткина Л.А. Электрические сети и системы / Л.И. Солдаткина. М: Энергия, 1978. 216 с.

67 Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

68 СТО СМК 4.2.3.21-2018 Оформление выпускных квалификационных и курсовых работ (проектов). – Благовещенск, Издательство АмГУ, 2018. – 75 с.

69 СТО 56947007-29.140.30.010-2008 ФСК ЕЭС «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения», Издательство «ОАО ФСК ЕЭС», 2007. – 132 с.

70 Суднова В.В. Качество электроэнергии. – М.: Энергосервис, 2000. – 86 с.

71 Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций напряжением 35-750 кВ. Типовые решения, Энергосетьпроект, 2006 г.

72 Тарифы на электроэнергию [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.dvec.ru/amursbyt/private_clients/tariffs/ – 1.05.2018.

73 Трофимов, Г.Г. Качество электроэнергии и его влияние на работу промышленных предприятий. – Алма-Ата: Каз НИИНТИ, 1986. – 75 с.

74 Управление качеством электроэнергии [Текст] : учеб. пособие : рек. УМО / И. И. Карташев, В. Н. Тульский, Р. Г. Шамонов ; под ред. Ю. В. Шарова. – М.: Изд-ий дом МЭИ, 2008. - 355 с.

75 Файбисович, Д. Л. Справочник по проектированию электрических сетей : / Д. Л. Ф айбисович, И. Г. Карапетян – М. : НТФ «Энергосетьпроект», 2012. – 376 с.

76 Фокин Ю.А., Туфанов В.А. Оценка надежности систем электроснабжения,– М.: Энергоиздат, 1981. – 224 с.

77 Электромагнитная совместимость потребителей : моногр. / И.В. Жежеленко, А.К. Шидловский, Г.Г. Пивняк и др. –М.: Машиностроение, 2012. – 351 с.

78 Электротехнический справочник (том 3)/ Под ред. И.П. Березиной, М.П. Соколовой, Н.Б. Фомичевой. – М.: Издательство «МЭИ», 2002. – 327 с.

79 Шведов, Г. В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учебное пособие для вузов / Г. В. Шведов, О. В. Сипачева, О. В. Савченко; под ред. Ю. С. Железко. – М. : Издательский дом МЭИ, 2013. – 424 с.

80 Шидловский А.К., Кузнецов В.Г., Николаенко В.Г. Оптимизация несимметричных режимов систем электроснабжения. – Киев: Наукова думка, 1987. – 176 с.

81 Шидловский А.К., Кузнецов В.Г. Повышение качества электрической энергии в электрических сетях. – Киев: Наукова думка, 1985.

82 Шилкин, П.М. Справочник по электроснабжению железных дорог. П.М. Шилкин, Б.Е. Геронимус, И.Б. Мостинский, К.Г. Марквардт. В 2 т. Т. 1 / Под. ред. К.Г. Марквардта. - Москва : Транспорт, 1980. - 256 с.

83 Яшков В.А., Конарбаева А.А., Кабдешова Г.К. Экономическая оценка последствий снижения качества электроэнергии // Пром. энергетика. – 2005. – № 2. – с. 44-45.

Приложение А

Расчёт коэффициентов гармонических составляющих напряжений существующего участка сети в программе Mathcad

Индуктивные сопротивления линий

$$X_{\text{уд}240} := 0.435 \text{ Ом/км} \quad X_{\text{уд}300} := 0.429 \text{ Ом/км} \quad X_{\text{уд}400} := 0.420 \text{ Ом/км}$$

$$b_{\text{уд}240} := 2.6 \cdot 10^{-4} \text{ См/км} \quad b_{\text{уд}300} := 2.64 \cdot 10^{-4} \text{ См/км} \quad b_{\text{уд}400} := 2.7 \cdot 10^{-4} \text{ См/км}$$

$$X_{\text{АмурМ.ч.1}} := X_{\text{уд}240} \cdot 7.72 = 3.358$$

$$X_{\text{АмурМ.ч.2}} := X_{\text{уд}240} \cdot 7.72 = 3.358$$

$$X_{\text{АмурМ.ч.}} := \frac{X_{\text{АмурМ.ч.1}} \cdot X_{\text{АмурМ.ч.2}}}{X_{\text{АмурМ.ч.1}} + X_{\text{АмурМ.ч.2}}} = 1.679$$

$$X_{\text{ЗавЗав}_\tau 1} := X_{\text{уд}240} \cdot 7.69 = 3.345$$

$$X_{\text{ЗавЗав}_\tau 2} := X_{\text{уд}240} \cdot 7.69 = 3.345$$

$$X_{\text{ЗавЗав}_\tau} := \frac{X_{\text{ЗавЗав}_\tau 1} \cdot X_{\text{ЗавЗав}_\tau 2}}{X_{\text{ЗавЗав}_\tau 1} + X_{\text{ЗавЗав}_\tau 2}} = 1.673$$

$$X_{\text{АмурОп18}} := X_{\text{уд}240} \cdot (3.46 + 0.04) = 1.522$$

$$X_{\text{Оп18Оп285}} := X_{\text{уд}240} \cdot (60.74 + 0.07) = 26.452$$

$$X_{\text{Оп285Б}_\tau} := X_{\text{уд}300} \cdot 8.51 = 3.651$$

$$X_{\text{Б}_\tau \text{Хв}} := X_{\text{уд}240} \cdot (82.24 + 0.89) = 36.162$$

$$X_{\text{ХвЗав}} := X_{\text{уд}300} \cdot 39.23 = 16.83$$

$$X_{\text{АмурОп276}} := X_{\text{уд}300} \cdot 69 = 29.601$$

$$X_{\text{Оп276Кор}} := X_{\text{уд}300} \cdot 68.85 = 29.537$$

$$X_{\text{КорОп190}} := X_{\text{уд}300} \cdot 12.6 = 5.405$$

$$X_{\text{Оп190Зав}} := X_{\text{уд}300} \cdot 39.05 = 16.752$$

$$X_{\text{СКорОп190}} := \frac{-12.6}{b_{\text{уд}300}} = -4.773 \times 10^4$$

$$X_{\text{СОп190Зав}} := \frac{-39.05}{b_{\text{уд}300}} = -1.479 \times 10^5$$

$$X_{\text{СОп276Кор}} := \frac{-68.85}{b_{\text{уд}300}} = -2.608 \times 10^5$$

$$X_{\text{СОп285Б}_\tau} := \frac{-8.51}{b_{\text{уд}300}} = -3.223 \times 10^4$$

$$X_{\text{СБ}_\tau \text{Хв}} := \frac{-(82.24 + 0.89)}{b_{\text{уд}240}} = -3.197 \times 10^5$$

$$X_{\text{СХвЗав}} := \frac{-39.23}{b_{\text{уд}300}} = -1.486 \times 10^5$$

$$X_{\text{СОп18Оп285}} := \frac{-(60.74 + 0.07)}{b_{\text{уд}240}} = -2.339 \times 10^5$$

$$X_{\text{САмурОп18}} := \frac{-(3.46 + 0.04)}{b_{\text{уд}240}} = -1.346 \times 10^4$$

$$X_{\text{САмурМ.ч.1}} := \frac{-7.72}{b_{\text{уд}240}} = -2.969 \times 10^4$$

$$X_{\text{САмурМ.ч.2}} := \frac{-7.72}{b_{\text{уд}240}} = -2.969 \times 10^4$$

$$X_{\text{САмурМ.ч.}} := \frac{X_{\text{САмурМ.ч.1}} \cdot X_{\text{САмурМ.ч.2}}}{X_{\text{САмурМ.ч.1}} + X_{\text{САмурМ.ч.2}}} = -1.485 \times 10^4$$

$$X_{\text{СЗавЗав}_\tau 1} := \frac{-7.69}{b_{\text{уд}240}} = -2.958 \times 10^4$$

$$X_{\text{СЗавЗав}_\tau 2} := \frac{-7.69}{b_{\text{уд}240}} = -2.958 \times 10^4$$

$$X_{\text{СЗавЗав}_\tau} := \frac{X_{\text{СЗавЗав}_\tau 1} \cdot X_{\text{СЗавЗав}_\tau 2}}{X_{\text{СЗавЗав}_\tau 1} + X_{\text{СЗавЗав}_\tau 2}} = -1.479 \times 10^4$$

$$X_{\text{САмурОп276}} := \frac{-69}{b_{\text{уд}300}} = -2.614 \times 10^5$$

Индуктивные сопротивления трансформаторов

$$X_{\text{ТВМ.ч.1}} := 165 \quad X_{\text{ТВЗав}_\tau 1} := 165 \quad X_{\text{ТВМ.ч.2}} := 165 \quad X_{\text{ТВЗав}_\tau 2} := 165 \quad X_{\text{ТВАмур1}} := 61.1 \quad X_{\text{ТВАмур2}} := 61.1$$

$$X_{\text{ТСМ.ч.1}} := 0 \quad X_{\text{ТСЗав}_\tau 1} := 0 \quad X_{\text{ТСМ.ч.2}} := 0 \quad X_{\text{ТСЗав}_\tau 2} := 0 \quad X_{\text{ТСАмур1}} := 0 \quad X_{\text{ТСАмур2}} := 0$$

$$X_{\text{ТНМ.ч.1}} := 125 \quad X_{\text{ТНЗав}_\tau 1} := 125 \quad X_{\text{ТНМ.ч.2}} := 125 \quad X_{\text{ТНЗав}_\tau 2} := 125 \quad X_{\text{ТНАмур1}} := 113.5 \quad X_{\text{ТНАмур2}} := 113.5$$

$$X_{\text{В9}} := \frac{X_{\text{ТВМ.ч.1}}}{2} = 82.5 \quad X_{\text{В10}} := \frac{X_{\text{ТВЗав}_\tau 1}}{2} = 82.5 \quad X_{\text{Н4}} := 165 \quad X_{\text{Н7}} := 200 \quad X_{\text{ТНБел63}_1} := 104$$

$$X_{\text{С9}} := \frac{X_{\text{ТСМ.ч.1}}}{2} = 0 \quad X_{\text{С10}} := \frac{X_{\text{ТСЗав}_\tau 1}}{2} = 0 \quad X_{\text{С4}} := 0 \quad X_{\text{С7}} := 0 \quad X_{\text{ТСБел63}_1} := 0$$

$$X_{\text{Н9}} := \frac{X_{\text{ТНМ.ч.1}}}{2} = 62.5 \quad X_{\text{Н10}} := \frac{X_{\text{ТНЗав}_\tau 1}}{2} = 62.5 \quad X_{\text{Н4}} := 125 \quad X_{\text{Н7}} := 100 \quad X_{\text{ТНБел63}_1} := 195.6$$

$$X_{\text{Н2}} := 125 \quad X_{\text{Н3}} := 125 \quad X_{\text{Н1}} := 165 \quad X_{\text{Н3}} := 165 \quad X_{\text{ТНБел63}_2} := 104$$

$$\begin{aligned}
 X_{1.27} &:= \frac{X_{1.19} \cdot X_{1.13} \cdot X_{1.21}}{X_{1.19} \cdot X_{1.13} + X_{1.19} \cdot X_{1.21} + X_{1.13} \cdot X_{1.21}} = 31.089 & X_{1.31} &:= X_{1.27} + X_{1.20} + \frac{X_{1.27} \cdot X_{1.20}}{X_{1.17}} = 387.764 \\
 X_{1.28} &:= \frac{X_{1.25} \cdot X_{1.15}}{X_{1.25} + X_{1.15}} = 56.938 & X_{1.32} &:= X_{1.23} + X_{XвЗав} + \frac{X_{1.23} \cdot X_{XвЗав}}{X_{1.28}} = 304.106 \\
 X_{1.29} &:= X_{1.17} + X_{1.20} + \frac{X_{1.17} \cdot X_{1.20}}{X_{1.27}} = 355.952 & X_{1.33} &:= X_{1.28} + X_{1.23} + \frac{X_{1.28} \cdot X_{1.23}}{X_{XвЗав}} = 1.029 \times 10^3 \\
 X_{1.30} &:= X_{1.27} + X_{1.17} + \frac{X_{1.27} \cdot X_{1.17}}{X_{1.20}} = 64.824 & X_{1.34} &:= X_{1.28} + X_{XвЗав} + \frac{X_{1.28} \cdot X_{XвЗав}}{X_{1.23}} = 78.09 \\
 X_{1.35} &:= \frac{X_{1.26} \cdot X_{1.30}}{X_{1.26} + X_{1.30}} = 12.699 & X_{1.36} &:= \frac{X_{1.22} \cdot X_{1.31}}{X_{1.22} + X_{1.31}} = 377.078 & X_{1.37} &:= \frac{X_{1.24} \cdot X_{1.33}}{X_{1.24} + X_{1.33}} = 651.759 \\
 X_{1.38} &:= \frac{X_{1.16} \cdot X_{1.34}}{X_{1.16} + X_{1.34}} = 21.232 & X_{1.39} &:= \frac{X_{1.29} \cdot X_{1.36}}{X_{1.29} + X_{1.36}} = 183.105 & X_{1.40} &:= \frac{X_{1.32} \cdot X_{1.37}}{X_{1.32} + X_{1.37}} = 207.355 \\
 X_{1.эквI} &:= \frac{X_{1.35} \cdot X_{1.39}}{X_{1.35} + X_{1.39}} = 11.876 & X_{1.эквII} &:= \frac{X_{1.38} \cdot X_{1.40}}{X_{1.38} + X_{1.40}} = 19.26 \\
 U_H &:= 220 \text{ кВ} \\
 S_{нагрБел_г} &:= \frac{0.85 \sqrt{47.4^2 + 28.4^2} \cdot 10^3}{2} = 2.348 \times 10^4 \text{ кВт} \\
 I_1 &:= \frac{S_{нагрБел_г}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 61.6 \text{ А} \\
 \text{Коэф. для тока протекающего на X6 и X8:} \\
 K_{1.1} &:= \frac{X_{1.эквI}}{X_{1.6} + X_{1.эквI}} = 0.087 & K_{1.10} &:= \frac{X_{1.эквII}}{X_{1.8} + X_{1.эквII}} = 0.134 \\
 \text{Ток, протекающий на X6 и X8:} \\
 I_{1.1} &:= K_{1.1} \cdot I_1 = 5.347 \text{ А} & I_{1.10} &:= K_{1.10} \cdot I_1 = 8.228 \text{ А} \\
 U_{1.1} &:= I_{1.1} \cdot X_{1.6} = 668.393 \text{ В} & U_{1.10} &:= I_{1.10} \cdot X_{1.8} = 1.029 \times 10^3 \text{ В} \\
 \text{Коэф. для тока, протекающего на X4 и X7:} \\
 K_{1.2} &:= \frac{X_{1.6}}{X_{1.6} + X_{1.эквI}} = 0.913 & K_{1.11} &:= \frac{X_{1.7}}{X_{1.7} + X_{1.эквII}} = 0.895 \\
 \text{Ток, протекающий на X4 и X7:} \\
 I_{1.2} &:= K_{1.2} \cdot I_1 = 56.283 \text{ А} & I_{1.11} &:= K_{1.11} \cdot I_1 = 55.188 \text{ А} \\
 U_{1.2} &:= I_{1.2} \cdot X_{1.эквI} = 668.393 \text{ В} & U_{1.11} &:= I_{1.11} \cdot X_{1.эквII} = 1.063 \times 10^3 \text{ В} \\
 \text{2 эквивалент} \\
 X_{1.41} &:= \frac{X_{САмурOp18} \cdot X_{1.2}}{X_{САмурOp18} + X_{1.2}} = 71.498 & X_{1.43} &:= \frac{X_{СБ_гXв} \cdot X_{1.10}}{X_{СБ_гXв} + X_{1.10}} = 66.681 \\
 X_{1.42} &:= \frac{X_{COп18Oп285} \cdot X_{1.3}}{X_{COп18Oп285} + X_{1.3}} = 35.566 & X_{1.44} &:= \frac{X_{CXвЗав} \cdot X_{1.11}}{X_{CXвЗав} + X_{1.11}} = 29.16 \\
 X_{1.45} &:= X_{Oп285Б_г} + X_{Oп18Oп285} + \frac{X_{Oп285Б_г} \cdot X_{Oп18Oп285}}{X_{1.42}} = 32.818
 \end{aligned}$$

$$X_{1.46} := X_{\text{Он18Он285}} + X_{1.42} + \frac{X_{\text{Он18Он285}} \cdot X_{1.42}}{X_{\text{Он285Б_т}}} = 319.715$$

$$X_{1.47} := X_{\text{Он285Б_т}} + X_{1.42} + \frac{X_{\text{Он285Б_т}} \cdot X_{1.42}}{X_{\text{Он18Он285}}} = 44.125$$

$$X_{1.48} := X_{\text{Б_тХв}} + X_{\text{Хв3ав}} + \frac{X_{\text{Б_тХв}} \cdot X_{\text{Хв3ав}}}{X_{1.43}} = 62.118$$

$$X_{1.49} := X_{\text{Б_тХв}} + X_{1.43} + \frac{X_{\text{Б_тХв}} \cdot X_{1.43}}{X_{\text{Хв3ав}}} = 246.117$$

$$X_{1.50} := X_{\text{Хв3ав}} + X_{1.43} + \frac{X_{\text{Хв3ав}} \cdot X_{1.43}}{X_{\text{Б_тХв}}} = 114.544$$

$$X_{1.51} := \frac{X_{1.41} \cdot X_{1.46}}{X_{1.41} + X_{1.46}} = 58.431 \quad X_{1.54} := X_{\text{АмурОн18}} + X_{1.45} + \frac{X_{\text{АмурОн18}} \cdot X_{1.45}}{X_{1.51}} = 35.196$$

$$X_{1.52} := \frac{X_{\text{СОн285Б_т}} \cdot X_{1.47}}{X_{\text{СОн285Б_т}} + X_{1.47}} = 44.186 \quad X_{1.55} := X_{\text{АмурОн18}} + X_{1.51} + \frac{X_{\text{АмурОн18}} \cdot X_{1.51}}{X_{1.45}} = 62.665$$

$$X_{1.53} := \frac{X_{1.50} \cdot X_{1.44}}{X_{1.50} + X_{1.44}} = 23.243 \quad X_{1.56} := X_{1.51} + X_{1.45} + \frac{X_{1.51} \cdot X_{1.45}}{X_{\text{АмурОн18}}} = 1.351 \times 10^3$$

$$X_{1.57} := \frac{X_{1.48} \cdot X_{1.49}}{X_{1.48} + X_{1.49}} = 49.6 \quad X_{1.58} := \frac{X_{1.1} \cdot X_{1.55}}{X_{1.1} + X_{1.55}} = 15.08$$

$$X_{1.59} := \frac{X_{1.56} \cdot X_{1.52}}{X_{1.56} + X_{1.52}} = 42.786 \quad X_{1.60} := \frac{X_{1.59} \cdot X_{1.54}}{X_{1.59} + X_{1.54}} = 19.311$$

$$X_{1.эквIII} := \frac{X_{1.57} \cdot X_{1.53}}{X_{1.57} + X_{1.53}} = 15.827 \quad X_{1.эквIV} := \frac{X_{1.58} \cdot X_{1.60}}{X_{1.58} + X_{1.60}} = 8.468$$

Коэф. для тока, протекающего на X5 и X9

$$K_{1.3} := \frac{X_{1.эквIV}}{X_{1.5} + X_{1.эквIV}} = 0.028 \quad K_{1.12} := \frac{X_{1.эквIII}}{X_{1.9} + X_{1.эквIII}} = 0.052$$

Ток, протекающий на X5 и X9:

$$I_{1.3} := K_{1.3} \cdot I_{1.2} = 1.597 \text{ А} \quad I_{1.12} := K_{1.12} \cdot I_{1.11} = 2.856 \text{ А}$$

$$U_{1.3} := I_{1.3} \cdot X_{1.5} = 463.061 \text{ В} \quad U_{1.12} := I_{1.12} \cdot X_{1.9} = 828.238 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Он285 Бел/т и Бел/тХв:

$$K_{1.4} := \frac{X_{1.5}}{X_{1.5} + X_{1.эквIV}} = 0.972 \quad K_{1.13} := \frac{X_{1.9}}{X_{1.9} + X_{1.эквIII}} = 0.948$$

Ток, протекающий на линиях Он285 Бел/т и Бел/тХв:

$$I_{1.4} := K_{1.4} \cdot I_{1.3} = 54.686 \text{ А} \quad I_{1.13} := K_{1.13} \cdot I_{1.11} = 52.332 \text{ А}$$

$$U_{1.4} := I_{1.4} \cdot X_{1.эквIV} = 463.061 \text{ В} \quad U_{1.13} := I_{1.13} \cdot X_{1.эквIII} = 828.238 \text{ В}$$

3 эквивалент

$$X_{1.61} := \frac{X_{\text{САмурОн18}} \cdot X_{1.2}}{X_{\text{САмурОн18}} + X_{1.2}} = 71.498 \quad X_{1.62} := \frac{X_{\text{Хв3ав}} \cdot X_{\text{СХв3ав}}}{X_{\text{Хв3ав}} + X_{\text{СХв3ав}}} = 16.832$$

$$X_{1.63} := X_{\text{АмурОн18}} + X_{\text{Он18Он285}} + \frac{X_{\text{АмурОн18}} \cdot X_{\text{Он18Он285}}}{X_{1.61}} = 28.538$$

$$X_{1.64} := X_{1.61} + X_{\text{АмурОп18}} + \frac{X_{1.61} \cdot X_{\text{АмурОп18}}}{X_{\text{Оп18Оп285}}} = 77.136$$

$$X_{1.65} := X_{1.61} + X_{\text{Оп18Оп285}} + \frac{X_{1.61} \cdot X_{\text{Оп18Оп285}}}{X_{\text{АмурОп18}}} = 1.34 \times 10^3$$

$$X_{1.3\text{эВ}} := \frac{X_{1.62} \cdot X_{1.11}}{X_{1.62} + X_{1.11}} = 10.671 \quad X_{1.66} := \frac{X_{1.1} \cdot X_{1.64}}{X_{1.1} + X_{1.64}} = 15.793 \quad X_{1.67} := \frac{X_{\text{СОп285Б}_T} \cdot X_{1.65}}{X_{\text{СОп285Б}_T} + X_{1.65}} = 1.398 \times 10^3$$

$$X_{1.68} := \frac{X_{1.63} \cdot X_{1.67}}{X_{1.63} + X_{1.67}} = 27.967 \quad X_{1.3\text{эВVI}} := \frac{X_{1.66} \cdot X_{1.68}}{X_{1.66} + X_{1.68}} = 10.093$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная

$$K_{1.5} := \frac{X_{1.3\text{эВVI}}}{X_{1.3} + X_{1.3\text{эВVI}}} = 0.221 \quad K_{1.14} := \frac{X_{1.3\text{эВ}}}{X_{1.10} + X_{1.3\text{эВ}}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.5} := K_{1.5} \cdot I_{1.4} = 12.09 \text{ А} \quad I_{1.14} := K_{1.14} \cdot I_{1.13} = 7.221 \text{ А}$$

$$U_{1.5} := I_{1.5} \cdot X_{1.3} = 429.936 \text{ В} \quad U_{1.14} := I_{1.14} \cdot X_{1.10} = 481.383 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$K_{1.6} := \frac{X_{1.3}}{X_{1.3} + X_{1.3\text{эВVI}}} = 0.779 \quad K_{1.15} := \frac{X_{1.10}}{X_{1.10} + X_{1.3\text{эВ}}} = 0.862$$

Ток, протекающий на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$I_{1.6} := K_{1.6} \cdot I_{1.4} = 42.596 \text{ А} \quad I_{1.15} := K_{1.15} \cdot I_{1.13} = 45.111 \text{ А}$$

$$U_{1.6} := I_{1.6} \cdot X_{1.3\text{эВVI}} = 429.936 \text{ В} \quad U_{1.15} := I_{1.15} \cdot X_{1.3\text{эВ}} = 481.383 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$X_{1.69} := \frac{X_{\text{САмурОп18}} \cdot X_{\text{АмурОп18}}}{X_{\text{САмурОп18}} + X_{\text{АмурОп18}}} = 1.523$$

$$X_{1.3\text{эВVII}} := \frac{X_{1.1} \cdot X_{1.69}}{X_{1.1} + X_{1.69}} = 1.414$$

$$X_{1.70} := X_{\text{Б}_T\text{Хв}} + X_{1.7} + \frac{X_{\text{Б}_T\text{Хв}} \cdot X_{1.7}}{X_{1.9}} = 221.736$$

$$X_{1.71} := X_{1.7} + X_{1.9} + \frac{X_{1.7} \cdot X_{1.9}}{X_{\text{Б}_T\text{Хв}}} = 1.778 \times 10^3$$

$$X_{1.72} := X_{\text{Б}_T\text{Хв}} + X_{1.9} + \frac{X_{\text{Б}_T\text{Хв}} \cdot X_{1.9}}{X_{1.7}} = 389.718$$

$$X_{1.74} := \frac{X_{1.8} \cdot X_{1.71}}{X_{1.8} + X_{1.71}} = 116.79$$

$$X_{1.73} := \frac{X_{\text{СБ}_T\text{Хв}} \cdot X_{1.10}}{X_{\text{СБ}_T\text{Хв}} + X_{1.10}} = 66.681$$

$$X_{1.75} := \frac{X_{1.72} \cdot X_{1.73}}{X_{1.72} + X_{1.73}} = 56.938$$

$$X_{1.77} := X_{1.70} + X_{1.75} + \frac{X_{1.70} \cdot X_{1.75}}{X_{\text{ХвЗав}}} = 1.029 \times 10^3$$

$$X_{1.76} := X_{\text{ХвЗав}} + X_{1.70} + \frac{X_{\text{ХвЗав}} \cdot X_{1.70}}{X_{1.75}} = 304.106 \quad \zeta_{1.78} := X_{\text{ХвЗав}} + X_{1.75} + \frac{X_{\text{ХвЗав}} \cdot X_{1.75}}{X_{1.70}} = 78.09$$

$$X_{1.79} := \frac{X_{1.74} \cdot X_{1.77}}{X_{1.74} + X_{1.77}} = 104.884 \quad X_{1.80} := \frac{X_{1.78} \cdot X_{\text{СХвЗав}}}{X_{1.78} + X_{\text{СХвЗав}}} = 78.131 \quad X_{1.81} := \frac{X_{1.76} \cdot X_{1.80}}{X_{1.76} + X_{1.80}} = 62.161$$

$$X_{1.3\text{эВVIII}} := \frac{X_{1.81} \cdot X_{1.79}}{X_{1.81} + X_{1.79}} = 39.029$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Свободный и ПС Завитая:

$$K_{1.7} := \frac{X_{1.эквVII}}{X_{1.2} + X_{1.эквVII}} = 0.019$$

$$K_{1.16} := \frac{X_{1.эквVIII}}{X_{1.11} + X_{1.эквVIII}} = 0.572$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.7} := K_{1.7} \cdot I_{1.6} = 0.83 \text{ A}$$

$$I_{1.16} := K_{1.16} \cdot I_{1.15} = 25.821 \text{ A}$$

$$U_{1.7} := I_{1.7} \cdot X_{1.2} = 59.066 \text{ В}$$

$$U_{1.16} := I_{1.16} \cdot X_{1.11} = 752.841 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Амур Оп18:

$$K_{1.8} := \frac{X_{1.2}}{X_{1.2} + X_{1.эквVII}} = 0.981$$

Ток, протекающий на линиях Амур Оп18:

$$I_{1.8} := K_{1.8} \cdot I_{1.6} = 41.765 \text{ A}$$

$$U_{1.8} := I_{1.8} \cdot X_{1.эквVII} = 59.066 \text{ В}$$

5 эквивалент

$$X_{1.82} := \frac{X_{САмурОп18} \cdot X_{1.2}}{X_{САмурОп18} + X_{1.2}} = 71.498 \quad X_{1.85} := X_{АмурОп18} + X_{Оп18Оп285} + \frac{X_{АмурОп18} \cdot X_{Оп18Оп285}}{X_{1.82}} = 28.538$$

$$X_{1.83} := \frac{X_{Оп18Оп285} \cdot X_{1.3}}{X_{Оп18Оп285} + X_{1.3}} = 35.566 \quad X_{1.86} := X_{АмурОп18} + X_{1.82} + \frac{X_{АмурОп18} \cdot X_{1.82}}{X_{Оп18Оп285}} = 77.136$$

$$X_{1.84} := \frac{X_{Оп285Б_г} \cdot X_{1.5}}{X_{Оп285Б_г} + X_{1.5}} = 292.633 \quad X_{1.87} := X_{Оп18Оп285} + X_{1.82} + \frac{X_{Оп18Оп285} \cdot X_{1.82}}{X_{АмурОп18}} = 1.34 \times 10^3$$

$$X_{1.88} := X_{Оп285Б_г} + X_{1.4} + \frac{X_{Оп285Б_г} \cdot X_{1.4}}{X_{1.84}} = 170.709$$

$$X_{1.89} := X_{Оп285Б_г} + X_{1.84} + \frac{X_{Оп285Б_г} \cdot X_{1.84}}{X_{1.4}} = 302.758$$

$$X_{1.90} := X_{1.4} + X_{1.84} + \frac{X_{1.4} \cdot X_{1.84}}{X_{Оп285Б_г}} = 1.368 \times 10^4$$

$$X_{1.92} := \frac{X_{1.90} \cdot X_{1.6}}{X_{1.90} + X_{1.6}} = 123.868$$

$$X_{1.91} := \frac{X_{1.87} \cdot X_{1.83} \cdot X_{1.89}}{X_{1.87} \cdot X_{1.83} + X_{1.87} \cdot X_{1.89} + X_{1.83} \cdot X_{1.89}} = 31.089 \quad X_{1.93} := X_{1.85} + X_{1.88} + \frac{X_{1.85} \cdot X_{1.88}}{X_{1.91}} = 355.952$$

$$X_{1.94} := X_{1.85} + X_{1.91} + \frac{X_{1.85} \cdot X_{1.91}}{X_{1.88}} = 64.824 \quad X_{1.96} := \frac{X_{1.86} \cdot X_{1.94}}{X_{1.86} + X_{1.94}} = 35.223$$

$$X_{1.95} := X_{1.88} + X_{1.91} + \frac{X_{1.88} \cdot X_{1.91}}{X_{1.85}} = 387.764 \quad X_{1.97} := \frac{X_{1.95} \cdot X_{1.92}}{X_{1.95} + X_{1.92}} = 93.879$$

$$X_{1.98} := \frac{X_{1.93} \cdot X_{1.97}}{X_{1.93} + X_{1.97}} = 74.287 \quad X_{1.эквIX} := \frac{X_{1.98} \cdot X_{1.96}}{X_{1.98} + X_{1.96}} = 23.894$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{1.9} := \frac{X_{1.эквIX}}{X_{1.1} + X_{1.эквIX}} = 0.546$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{1.9} := K_{1.9} \cdot I_{1.8} = 22.808 \text{ A}$$

$$U_{1.9} := I_{1.9} \cdot X_{1.1} = 452.954 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 3 гармоники:

$$n := 3$$

$$X_{CAмyрOп18.3} := \frac{-(3.46 + 0.04)}{n \cdot b_{yд240}} = -4.487 \times 10^3 \quad X_{AмyрOп18.3} := n \cdot X_{yд240} \cdot (3.46 + 0.04) = 4.567$$

$$X_{COп18Oп285.3} := \frac{-(60.74 + 0.07)}{n \cdot b_{yд240}} = -7.796 \times 10^4 \quad X_{Oп18Oп285.3} := n \cdot X_{yд240} \cdot (60.74 + 0.07) = 79.357$$

$$X_{COп285B_т.3} := \frac{-8.51}{n \cdot b_{yд300}} = -1.074 \times 10^4 \quad X_{Oп285B_т.3} := n \cdot X_{yд300} \cdot 8.51 = 10.952$$

$$X_{CB_тXв.3} := \frac{-(82.24 + 0.89)}{n \cdot b_{yд240}} = -1.066 \times 10^5 \quad X_{B_тXв.3} := n \cdot X_{yд240} \cdot (82.24 + 0.89) = 108.485$$

$$X_{1.1.3} := \frac{n \cdot X_{B1} \cdot n \cdot X_{H1}}{n \cdot X_{B1} + n \cdot X_{H1}} = 59.578 \quad X_{1.4.3} := n \cdot X_{B3} + n \cdot X_{C3} + \frac{n \cdot X_{B3} \cdot n \cdot X_{C3}}{n \cdot X_{H3}} = 495$$

$$X_{1.2.3} := \frac{n \cdot X_{B2} \cdot n \cdot X_{H2}}{n \cdot X_{B2} + n \cdot X_{H2}} = 213.362 \quad X_{1.5.3} := n \cdot X_{B3} + n \cdot X_{H3} = 870$$

$$X_{1.3.3} := \frac{n \cdot X_{B5} \cdot n \cdot X_{H5}}{n \cdot X_{B5} + n \cdot X_{H5}} = 106.681 \quad X_{1.6.3} := n \cdot X_{H3} + n \cdot X_{C3} + \frac{n \cdot X_{H3} \cdot n \cdot X_{C3}}{n \cdot X_{B3}} = 375$$

$$X_{1.10.3} := \frac{n \cdot X_{B7} \cdot n \cdot X_{H7}}{n \cdot X_{B7} + n \cdot X_{H7}} = 200 \quad X_{1.7.3} := n \cdot X_{B3} + n \cdot X_{C3} + \frac{n \cdot X_{B3} \cdot n \cdot X_{C3}}{n \cdot X_{H3}} = 495$$

$$X_{1.11.3} := \frac{n \cdot X_{B8} \cdot n \cdot X_{H8}}{n \cdot X_{B8} + n \cdot X_{H8}} = 87.464 \quad X_{1.8.3} := n \cdot X_{H3} + n \cdot X_{C3} + \frac{n \cdot X_{H3} \cdot n \cdot X_{C3}}{n \cdot X_{B3}} = 375$$

$$X_{1.9.3} := n \cdot X_{B3} + n \cdot X_{H3} = 870$$

1 эквивалент

$$X_{1.12.3} := \frac{X_{CAмyрOп18.3} \cdot X_{1.2.3}}{X_{CAмyрOп18.3} + X_{1.2.3}} = 224.014 \quad X_{1.13.3} := \frac{X_{COп18Oп285.3} \cdot X_{1.3.3}}{X_{COп18Oп285.3} + X_{1.3.3}} = 106.827$$

$$X_{1.14.3} := \frac{X_{COп285B_т.3} \cdot X_{1.5.3}}{X_{COп285B_т.3} + X_{1.5.3}} = 946.648 \quad X_{1.15.3} := \frac{X_{CB_тXв.3} \cdot X_{1.10.3}}{X_{CB_тXв.3} + X_{1.10.3}} = 200.376$$

$$X_{1.16.3} := \frac{X_{CXв3ав.3} \cdot X_{1.11.3}}{X_{CXв3ав.3} + X_{1.11.3}} = 87.619$$

$$X_{1.17.3} := X_{AмyрOп18.3} + X_{Oп18Oп285.3} + \frac{X_{AмyрOп18.3} \cdot X_{Oп18Oп285.3}}{X_{1.12.3}} = 85.543$$

$$X_{1.18.3} := X_{AмyрOп18.3} + X_{1.12.3} + \frac{X_{AмyрOп18.3} \cdot X_{1.12.3}}{X_{Oп18Oп285.3}} = 241.475$$

$$X_{1.19.3} := X_{Oп18Oп285.3} + X_{1.12.3} + \frac{X_{Oп18Oп285.3} \cdot X_{1.12.3}}{X_{AмyрOп18.3}} = 4.195 \times 10^3$$

$$X_{1.20.3} := X_{Oп285B_т.3} + X_{1.4.3} + \frac{X_{Oп285B_т.3} \cdot X_{1.4.3}}{X_{1.14.3}} = 511.679$$

$$X_{1.21.3} := X_{Oп285B_т.3} + X_{1.4.3} + \frac{X_{Oп285B_т.3} \cdot X_{1.4.3}}{X_{1.4.3}} = 978.546$$

$$X_{1.22.3} := X_{1.4.3} + X_{1.14.3} + \frac{X_{1.4.3} \cdot X_{1.14.3}}{X_{Oп285B_т.3}} = 4.423 \times 10^4$$

$$X_{1.23.3} := X_{1.7.3} + X_{B_тXв.3} + \frac{X_{1.7.3} \cdot X_{B_тXв.3}}{X_{1.9.3}} = 665.209$$

$$\begin{aligned}
 X_{1,24,3} &:= X_{1,9,3} + X_{1,7,3} + \frac{X_{1,9,3} \cdot X_{1,7,3}}{X_{Б\text{ рХв},3}} = 5.335 \times 10^3 \\
 X_{1,25,3} &:= X_{1,9,3} + X_{Б\text{ рХв},3} + \frac{X_{1,9,3} \cdot X_{Б\text{ рХв},3}}{X_{1,7,3}} = 1.169 \times 10^3 \\
 X_{1,27,3} &:= \frac{X_{1,19,3} \cdot X_{1,13,3} \cdot X_{1,21,3}}{X_{1,19,3} \cdot X_{1,13,3} + X_{1,19,3} \cdot X_{1,21,3} + X_{1,13,3} \cdot X_{1,21,3}} = 94.151 \\
 X_{1,29,3} &:= X_{1,17,3} + X_{1,20,3} + \frac{X_{1,17,3} \cdot X_{1,20,3}}{X_{1,27,3}} = 1.062 \times 10^3 \\
 X_{1,30,3} &:= X_{1,27,3} + X_{1,17,3} + \frac{X_{1,27,3} \cdot X_{1,17,3}}{X_{1,20,3}} = 195.434 \\
 X_{1,31,3} &:= X_{1,27,3} + X_{1,20,3} + \frac{X_{1,27,3} \cdot X_{1,20,3}}{X_{1,17,3}} = 1.169 \times 10^3 \\
 X_{1,32,3} &:= X_{1,23,3} + X_{ХвЗав},3 + \frac{X_{1,23,3} \cdot X_{ХвЗав},3}{X_{1,28,3}} = 912.038 \\
 X_{1,33,3} &:= X_{1,28,3} + X_{1,23,3} + \frac{X_{1,28,3} \cdot X_{1,23,3}}{X_{ХвЗав},3} = 3.09 \times 10^3 \\
 X_{1,34,3} &:= X_{1,28,3} + X_{ХвЗав},3 + \frac{X_{1,28,3} \cdot X_{ХвЗав},3}{X_{1,23,3}} = 234.531 \\
 X_{1,35,3} &:= \frac{X_{1,26,3} \cdot X_{1,30,3}}{X_{1,26,3} + X_{1,30,3}} = 38.398 \\
 X_{1,36,3} &:= \frac{X_{1,22,3} \cdot X_{1,31,3}}{X_{1,22,3} + X_{1,31,3}} = 1.139 \times 10^3 \\
 X_{1,37,3} &:= \frac{X_{1,24,3} \cdot X_{1,33,3}}{X_{1,24,3} + X_{1,33,3}} = 1.957 \times 10^3 \\
 X_{1,38,3} &:= \frac{X_{1,16,3} \cdot X_{1,34,3}}{X_{1,16,3} + X_{1,34,3}} = 63.788 \\
 X_{1,39,3} &:= \frac{X_{1,29,3} \cdot X_{1,36,3}}{X_{1,29,3} + X_{1,36,3}} = 549.584 \quad X_{1,эвп},3 := \frac{X_{1,35,3} \cdot X_{1,39,3}}{X_{1,35,3} + X_{1,39,3}} = 35.891 \\
 X_{1,40,3} &:= \frac{X_{1,32,3} \cdot X_{1,37,3}}{X_{1,32,3} + X_{1,37,3}} = 622.076 \quad X_{1,эвп},3 := \frac{X_{1,38,3} \cdot X_{1,40,3}}{X_{1,38,3} + X_{1,40,3}} = 57.856
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока протекающего на Х6 и Х8:

$$K_{1,1,3} := \frac{X_{1,эвп},3}{X_{1,6,3} + X_{1,эвп},3} = 0.087 \quad K_{1,10,3} := \frac{X_{1,эвп},3}{X_{1,8,3} + X_{1,эвп},3} = 0.134$$

Ток, протекающий на Х6 и Х8:

$$I_{1,1,3} := K_{1,1,3} \cdot I_1 = 5.383 \text{ А} \quad I_{1,10,3} := K_{1,10,3} \cdot I_1 = 8.237 \text{ А}$$

$$U_{1,1,3} := I_{1,1,3} \cdot X_{1,6,3} = 2.019 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1,10,3} := I_{1,10,3} \cdot X_{1,8,3} = 3.089 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на Х4 и Х7:

$$K_{1,2,3} := \frac{X_{1,6,3}}{X_{1,6,3} + X_{1,эвп},3} = 0.913 \quad K_{1,11,3} := \frac{X_{1,7,3}}{X_{1,7,3} + X_{1,эвп},3} = 0.895$$

Ток, протекающий на Х4 и Х7:

$$I_{1,2,3} := K_{1,2,3} \cdot I_1 = 56.247 \text{ А} \quad I_{1,11,3} := K_{1,11,3} \cdot I_1 = 55.18 \text{ А}$$

$$U_{1,2,3} := I_{1,2,3} \cdot X_{1,эвп},3 = 2.019 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1,11,3} := I_{1,11,3} \cdot X_{1,эвп},3 = 3.192 \times 10^3 \text{ В}$$

2 эквивалент

$$X_{1.41.3} := \frac{X_{CAмурОн18.3} \cdot X_{1.2.3}}{X_{CAмурОн18.3} + X_{1.2.3}} = 224.014 \quad X_{1.43.3} := \frac{X_{CB_rXв.3} \cdot X_{1.10.3}}{X_{CB_rXв.3} + X_{1.10.3}} = 200.376$$

$$X_{1.42.3} := \frac{X_{COн18Он285.3} \cdot X_{1.3.3}}{X_{COн18Он285.3} + X_{1.3.3}} = 106.827 \quad X_{1.44.3} := \frac{X_{CXв3ав.3} \cdot X_{1.11.3}}{X_{CXв3ав.3} + X_{1.11.3}} = 87.619$$

$$X_{1.45.3} := X_{Он285Б_т.3} + X_{Он18Он285.3} + \frac{X_{Он285Б_т.3} \cdot X_{Он18Он285.3}}{X_{1.42.3}} = 98.445$$

$$X_{1.46.3} := X_{Он18Он285.3} + X_{1.42.3} + \frac{X_{Он18Он285.3} \cdot X_{1.42.3}}{X_{Он285Б_т.3}} = 960.217$$

$$X_{1.47.3} := X_{Он285Б_т.3} + X_{1.42.3} + \frac{X_{Он285Б_т.3} \cdot X_{1.42.3}}{X_{Он18Он285.3}} = 132.523$$

$$X_{1.48.3} := X_{Б_rXв.3} + X_{Xв3ав.3} + \frac{X_{Б_rXв.3} \cdot X_{Xв3ав.3}}{X_{1.43.3}} = 186.309$$

$$X_{1.49.3} := X_{Б_rXв.3} + X_{1.43.3} + \frac{X_{Б_rXв.3} \cdot X_{1.43.3}}{X_{Xв3ав.3}} = 739.404$$

$$X_{1.50.3} := X_{Xв3ав.3} + X_{1.43.3} + \frac{X_{Xв3ав.3} \cdot X_{1.43.3}}{X_{Б_rXв.3}} = 344.121$$

$$X_{1.51.3} := \frac{X_{1.41.3} \cdot X_{1.46.3}}{X_{1.41.3} + X_{1.46.3}} = 181.638$$

$$X_{1.54.3} := X_{АмурОн18.3} + X_{1.45.3} + \frac{X_{АмурОн18.3} \cdot X_{1.45.3}}{X_{1.51.3}} = 105.488$$

$$X_{1.52.3} := \frac{X_{COн285Б_т.3} \cdot X_{1.47.3}}{X_{COн285Б_т.3} + X_{1.47.3}} = 134.178$$

$$X_{1.55.3} := X_{АмурОн18.3} + X_{1.51.3} + \frac{X_{АмурОн18.3} \cdot X_{1.51.3}}{X_{1.45.3}} = 194.633$$

$$X_{1.53.3} := \frac{X_{1.50.3} \cdot X_{1.44.3}}{X_{1.50.3} + X_{1.44.3}} = 69.837$$

$$X_{1.56.3} := X_{1.51.3} + X_{1.45.3} + \frac{X_{1.51.3} \cdot X_{1.45.3}}{X_{АмурОн18.3}} = 4.195 \times 10^3$$

$$X_{1.57.3} := \frac{X_{1.48.3} \cdot X_{1.49.3}}{X_{1.48.3} + X_{1.49.3}} = 148.812$$

$$X_{1.58.3} := \frac{X_{1.1.3} \cdot X_{1.55.3}}{X_{1.1.3} + X_{1.55.3}} = 45.615$$

$$X_{1.59.3} := \frac{X_{1.56.3} \cdot X_{1.52.3}}{X_{1.56.3} + X_{1.52.3}} = 130.019$$

$$X_{1.60.3} := \frac{X_{1.59.3} \cdot X_{1.54.3}}{X_{1.59.3} + X_{1.54.3}} = 58.238$$

$$X_{1.эквIII.3} := \frac{X_{1.57.3} \cdot X_{1.53.3}}{X_{1.57.3} + X_{1.53.3}} = 47.531$$

$$X_{1.эквIV.3} := \frac{X_{1.58.3} \cdot X_{1.60.3}}{X_{1.58.3} + X_{1.60.3}} = 25.58$$

Коэф. для тока, протекающего на X5 и X9

$$K_{1.3.3} := \frac{X_{1.эквIV.3}}{X_{1.5.3} + X_{1.эквIV.3}} = 0.029$$

$$K_{1.12.3} := \frac{X_{1.эквIII.3}}{X_{1.9.3} + X_{1.эквIII.3}} = 0.052$$

Ток, протекающий на X5 и X9:

$$I_{1.3.3} := K_{1.3.3} \cdot I_{1.2.3} = 1.607 \text{ А}$$

$$I_{1.12.3} := K_{1.12.3} \cdot I_{1.11.3} = 2.859 \text{ А}$$

$$U_{1.3.3} := I_{1.3.3} \cdot X_{1.5.3} = 1.398 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.12.3} := I_{1.12.3} \cdot X_{1.9.3} = 2.487 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Он285 Бел/т и Бел/тXв:

$$K_{1.4.3} := \frac{X_{1.5.3}}{X_{1.5.3} + X_{1.эквIV.3}} = 0.971$$

$$K_{1.13.3} := \frac{X_{1.9.3}}{X_{1.9.3} + X_{1.эквIII.3}} = 0.948$$

Ток, протекающий на линиях Оп285Бел/т и Бел/тХв:

$$I_{1.4.3} := K_{1.4.3} \cdot I_{1.2.3} = 54.64 \text{ А} \quad I_{1.13.3} := K_{1.13.3} \cdot I_{1.11.3} = 52.322 \text{ А}$$

$$U_{1.4.3} := I_{1.4.3} \cdot X_{1.эквIV.3} = 1.398 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.13.3} := I_{1.13.3} \cdot X_{1.эквIII.3} = 2.487 \times 10^3 \text{ В}$$

3 эквивалент

$$X_{1.61.3} := \frac{X_{САмурОп18.3} \cdot X_{1.2.3}}{X_{САмурОп18.3} + X_{1.2.3}} = 224.014$$

$$X_{1.62.3} := \frac{X_{ХвЗав.3} \cdot X_{СХвЗав.3}}{X_{ХвЗав.3} + X_{СХвЗав.3}} = 50.541$$

$$X_{1.63.3} := X_{АмурОп18.3} + X_{Оп18Оп285.3} + \frac{X_{АмурОп18.3} \cdot X_{Оп18Оп285.3}}{X_{1.61.3}} = 85.543$$

$$X_{1.64.3} := X_{1.61.3} + X_{АмурОп18.3} + \frac{X_{1.61.3} \cdot X_{АмурОп18.3}}{X_{Оп18Оп285.3}} = 241.475$$

$$X_{1.65.3} := X_{1.61.3} + X_{Оп18Оп285.3} + \frac{X_{1.61.3} \cdot X_{Оп18Оп285.3}}{X_{АмурОп18.3}} = 4.195 \times 10^3$$

$$X_{1.эквV.3} := \frac{X_{1.62.3} \cdot X_{1.11.3}}{X_{1.62.3} + X_{1.11.3}} = 32.031 \quad X_{1.67.3} := \frac{X_{СОп285Б_т.3} \cdot X_{1.65.3}}{X_{СОп285Б_т.3} + X_{1.65.3}} = 6.883 \times 10^3$$

$$X_{1.66.3} := \frac{X_{1.13.3} \cdot X_{1.64.3}}{X_{1.13.3} + X_{1.64.3}} = 47.787 \quad X_{1.68.3} := \frac{X_{1.63.3} \cdot X_{1.67.3}}{X_{1.63.3} + X_{1.67.3}} = 84.493$$

$$X_{1.эквVI.3} := \frac{X_{1.66.3} \cdot X_{1.68.3}}{X_{1.66.3} + X_{1.68.3}} = 30.524$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная

$$K_{1.5.3} := \frac{X_{1.эквVI.3}}{X_{1.3.3} + X_{1.эквVI.3}} = 0.222 \quad K_{1.14.3} := \frac{X_{1.эквV.3}}{X_{1.10.3} + X_{1.эквV.3}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.5.3} := K_{1.5.3} \cdot I_{1.4.3} = 12.156 \text{ А} \quad I_{1.14.3} := K_{1.14.3} \cdot I_{1.13.3} = 7.223 \text{ А}$$

$$U_{1.5.3} := I_{1.5.3} \cdot X_{1.3.3} = 1.297 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.14.3} := I_{1.14.3} \cdot X_{1.10.3} = 1.445 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$K_{1.6.3} := \frac{X_{1.3.3}}{X_{1.3.3} + X_{1.эквVI.3}} = 0.778 \quad K_{1.15.3} := \frac{X_{1.10.3}}{X_{1.10.3} + X_{1.эквV.3}} = 0.862$$

Ток, протекающий на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$I_{1.6.3} := K_{1.6.3} \cdot I_{1.4.3} = 42.484 \text{ А} \quad I_{1.15.3} := K_{1.15.3} \cdot I_{1.13.3} = 45.099 \text{ А}$$

$$U_{1.6.3} := I_{1.6.3} \cdot X_{1.эквVI.3} = 1.297 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.15.3} := I_{1.15.3} \cdot X_{1.эквV.3} = 1.445 \times 10^3 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$X_{1.69.3} := \frac{X_{САмурОп18.3} \cdot X_{АмурОп18.3}}{X_{САмурОп18.3} + X_{АмурОп18.3}} = 4.572$$

$$X_{1.эквVIII.3} := \frac{X_{1.13} \cdot X_{1.69.3}}{X_{1.13} + X_{1.69.3}} = 4.246$$

$$X_{1.70.3} := X_{Б_рХв.3} + X_{1.73} + \frac{X_{Б_рХв.3} \cdot X_{1.73}}{X_{1.93}} = 665.209$$

$$X_{1.73.3} := \frac{X_{СБ_рХв.3} \cdot X_{1.10.3}}{X_{СБ_рХв.3} + X_{1.10.3}} = 200.376$$

$$X_{1.71.3} := X_{1.73} + X_{1.93} + \frac{X_{1.73} \cdot X_{1.93}}{X_{Б_рХв.3}} = 5.335 \times 10^3$$

$$X_{1.74.3} := \frac{X_{1.83} \cdot X_{1.71.3}}{X_{1.83} + X_{1.71.3}} = 350.371$$

$$X_{1.72.3} := X_{Б_рХв.3} + X_{1.93} + \frac{X_{Б_рХв.3} \cdot X_{1.93}}{X_{1.73}} = 1.169 \times 10^3$$

$$X_{1.75.3} := \frac{X_{1.72.3} \cdot X_{1.73.3}}{X_{1.72.3} + X_{1.73.3}} = 171.059$$

$$X_{1.76.3} := X_{Хв3ав.3} + X_{1.70.3} + \frac{X_{Хв3ав.3} \cdot X_{1.70.3}}{X_{1.75.3}} = 912.038$$

$$X_{1.77.3} := X_{1.70.3} + X_{1.75.3} + \frac{X_{1.70.3} \cdot X_{1.75.3}}{X_{Хв3ав.3}} = 3.09 \times 10^3$$

$$X_{1.79.3} := \frac{X_{1.74.3} \cdot X_{1.77.3}}{X_{1.74.3} + X_{1.77.3}} = 314.689$$

$$X_{1.78.3} := X_{Хв3ав.3} + X_{1.75.3} + \frac{X_{Хв3ав.3} \cdot X_{1.75.3}}{X_{1.70.3}} = 234.531$$

$$X_{1.80.3} := \frac{X_{1.78.3} \cdot X_{СХв3ав.3}}{X_{1.78.3} + X_{СХв3ав.3}} = 235.647$$

$$X_{1.81.3} := \frac{X_{1.76.3} \cdot X_{1.80.3}}{X_{1.76.3} + X_{1.80.3}} = 187.263$$

$$X_{1.эквVIII.3} := \frac{X_{1.81.3} \cdot X_{1.79.3}}{X_{1.81.3} + X_{1.79.3}} = 117.401$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Свободный и ПС Завитая:

$$K_{1.73} := \frac{X_{1.эквVIII.3}}{X_{1.23} + X_{1.эквVIII.3}} = 0.02$$

$$K_{1.163} := \frac{X_{1.эквVIII.3}}{X_{1.113} + X_{1.эквVIII.3}} = 0.573$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.73} := K_{1.73} \cdot I_{1.63} = 0.829 \text{ А} \quad I_{1.163} := K_{1.163} \cdot I_{1.153} = 25.845 \text{ А}$$

$$U_{1.73} := I_{1.73} \cdot X_{1.23} = 176.881 \quad \text{В} \quad U_{1.163} := I_{1.163} \cdot X_{1.113} = 2.26 \times 10^3 \quad \text{В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Амур Оп18:

$$K_{1.83} := \frac{X_{1.23}}{X_{1.23} + X_{1.эквVIII.3}} = 0.98$$

Ток, протекающий на линиях Амур Оп18:

$$I_{1.83} := K_{1.83} \cdot I_{1.63} = 41.655 \text{ А}$$

$$U_{1.83} := I_{1.83} \cdot X_{1.эквVIII.3} = 176.881 \quad \text{В}$$

5 эквивалент

$$X_{1.82.3} := \frac{X_{САмурОп18.3} \cdot X_{1.23}}{X_{САмурОп18.3} + X_{1.23}} = 224.014$$

$$X_{1.83.3} := \frac{X_{COn18On285.3} \cdot X_{1.3.3}}{X_{COn18On285.3} + X_{1.3.3}} = 106.827$$

$$X_{1.84.3} := \frac{X_{COn285B_{\tau.3}} \cdot X_{1.5.3}}{X_{COn285B_{\tau.3}} + X_{1.5.3}} = 946.648$$

$$X_{1.85.3} := X_{AмyрOn18.3} + X_{On18On285.3} + \frac{X_{AмyрOn18.3} \cdot X_{On18On285.3}}{X_{1.83.3}} = 85.543$$

$$X_{1.86.3} := X_{AмyрOn18.3} + X_{1.82.3} + \frac{X_{AмyрOn18.3} \cdot X_{1.82.3}}{X_{On18On285.3}} = 241.475$$

$$X_{1.87.3} := X_{On18On285.3} + X_{1.82.3} + \frac{X_{On18On285.3} \cdot X_{1.82.3}}{X_{AмyрOn18.3}} = 4.195 \times 10^3$$

$$X_{1.88.3} := X_{On285B_{\tau.3}} + X_{1.4.3} + \frac{X_{On285B_{\tau.3}} \cdot X_{1.4.3}}{X_{1.84.3}} = 511.679$$

$$X_{1.89.3} := X_{On285B_{\tau.3}} + X_{1.84.3} + \frac{X_{On285B_{\tau.3}} \cdot X_{1.84.3}}{X_{1.4.3}} = 978.546$$

$$X_{1.90.3} := X_{1.4.3} + X_{1.84.3} + \frac{X_{1.4.3} \cdot X_{1.84.3}}{X_{On285B_{\tau.3}}} = 4.423 \times 10^4$$

$$X_{1.91.3} := \frac{X_{1.87.3} \cdot X_{1.83.3} \cdot X_{1.89.3}}{X_{1.87.3} \cdot X_{1.83.3} + X_{1.87.3} \cdot X_{1.89.3} + X_{1.83.3} \cdot X_{1.89.3}} = 94.151$$

$$X_{1.92.3} := \frac{X_{1.90.3} \cdot X_{1.6.3}}{X_{1.90.3} + X_{1.6.3}} = 371.847$$

$$X_{1.93.3} := X_{1.85.3} + X_{1.88.3} + \frac{X_{1.85.3} \cdot X_{1.88.3}}{X_{1.91.3}} = 1.062 \times 10^3$$

$$X_{1.94.3} := X_{1.85.3} + X_{1.91.3} + \frac{X_{1.85.3} \cdot X_{1.91.3}}{X_{1.88.3}} = 195.434 \quad X_{1.96.3} := \frac{X_{1.86.3} \cdot X_{1.94.3}}{X_{1.86.3} + X_{1.94.3}} = 108.014$$

$$X_{1.95.3} := X_{1.88.3} + X_{1.91.3} + \frac{X_{1.88.3} \cdot X_{1.91.3}}{X_{1.85.3}} = 1.169 \times 10^3 \quad X_{1.97.3} := \frac{X_{1.95.3} \cdot X_{1.92.3}}{X_{1.95.3} + X_{1.92.3}} = 282.111$$

$$X_{1.98.3} := \frac{X_{1.93.3} \cdot X_{1.97.3}}{X_{1.93.3} + X_{1.97.3}} = 222.905 \quad X_{1.эвГХ.3} := \frac{X_{1.98.3} \cdot X_{1.96.3}}{X_{1.98.3} + X_{1.96.3}} = 72.758$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{1.9.3} := \frac{X_{1.эвГХ.3}}{X_{1.1.3} + X_{1.эвГХ.3}} = 0.55$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{1.0.3} := K_{1.0.3} \cdot I_{1.8.3} = 22.902 \text{ А}$$

$$U_{1.9.3} := I_{1.9.3} \cdot X_{1.1.3} = 1.364 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 5 гармонике:

$$n_1 := 5$$

$$X_{CA\text{муп}On18.5} := \frac{-(3.46 + 0.04)}{n_1 \cdot b_{y\text{д}240}} = -2.692 \times 10^3$$

$$X_{CO\text{н}18On285.5} := \frac{-(60.74 + 0.07)}{n_1 \cdot b_{y\text{д}240}} = -4.678 \times 10^4$$

$$X_{CO\text{н}285B_{\tau.5}} := \frac{-8.51}{n_1 \cdot b_{y\text{д}300}} = -6.447 \times 10^3$$

$$X_{CB_{\tau}Xa.5} := \frac{-(82.24 + 0.89)}{n_1 \cdot b_{y\text{д}240}} = -6.395 \times 10^4$$

$$X_{CXa3a\text{в}.5} := \frac{-39.23}{n_1 \cdot b_{y\text{д}300}} = -2.972 \times 10^4$$

$$X_{A\text{муп}On18.5} := n_1 \cdot X_{y\text{д}240} \cdot (3.46 + 0.04) = 7.612$$

$$X_{On18On285.5} := n_1 \cdot X_{y\text{д}240} \cdot (60.74 + 0.07) = 132.262$$

$$X_{On285B_{\tau.5}} := n_1 \cdot X_{y\text{д}300} \cdot 8.51 = 18.254$$

$$X_{B_{\tau}Xa.5} := n_1 \cdot X_{y\text{д}240} \cdot (82.24 + 0.89) = 180.808$$

$$X_{Xa3a\text{в}.5} := n_1 \cdot X_{y\text{д}300} \cdot 39.23 = 84.148$$

$$X_{1.7.5} := n_1 \cdot X_{B3} + n_1 \cdot X_{C3} + \frac{n_1 \cdot X_{B3} \cdot n_1 \cdot X_{C3}}{n_1 \cdot X_{H3}} = 825$$

$$X_{1.8.5} := n_1 \cdot X_{H3} + n_1 \cdot X_{C3} + \frac{n_1 \cdot X_{H3} \cdot n_1 \cdot X_{C3}}{n_1 \cdot X_{B3}} = 625 \quad X_{1.9.5} := n_1 \cdot X_{B3} + n_1 \cdot X_{H3} = 1.45 \times 10^3$$

1 эквивалент

$$X_{1.12.5} := \frac{X_{CA\text{муп}On18.5} \cdot X_{1.2.5}}{X_{CA\text{муп}On18.5} + X_{1.2.5}} = 409.72$$

$$X_{1.13.5} := \frac{X_{CO\text{н}18On285.5} \cdot X_{1.3.5}}{X_{CO\text{н}18On285.5} + X_{1.3.5}} = 178.48$$

$$X_{1.14.5} := \frac{X_{CO\text{н}285B_{\tau.5}} \cdot X_{1.5.5}}{X_{CO\text{н}285B_{\tau.5}} + X_{1.5.5}} = 1.871 \times 10^3$$

$$X_{1.15.5} := \frac{X_{CB_{\tau}Xa.5} \cdot X_{1.10.5}}{X_{CB_{\tau}Xa.5} + X_{1.10.5}} = 335.08$$

$$X_{1.16.5} := \frac{X_{CXa3a\text{в}.5} \cdot X_{1.11.5}}{X_{CXa3a\text{в}.5} + X_{1.11.5}} = 146.492$$

$$X_{1.17.5} := X_{A\text{муп}On18.5} + X_{On18On285.5} + \frac{X_{A\text{муп}On18.5} \cdot X_{On18On285.5}}{X_{1.12.5}} = 142.332$$

$$X_{1.18.5} := X_{A\text{муп}On18.5} + X_{1.12.5} + \frac{X_{A\text{муп}On18.5} \cdot X_{1.12.5}}{X_{On18On285.5}} = 440.914$$

$$X_{1.19.5} := X_{On18On285.5} + X_{1.12.5} + \frac{X_{On18On285.5} \cdot X_{1.12.5}}{X_{A\text{муп}On18.5}} = 7.661 \times 10^3$$

$$X_{1.20.5} := X_{On285B_{\tau.5}} + X_{1.4.5} + \frac{X_{On285B_{\tau.5}} \cdot X_{1.4.5}}{X_{1.14.5}} = 851.304$$

$$X_{1.1.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B1} \cdot n_1 \cdot X_{H1}}{n_1 \cdot X_{R1} + n_1 \cdot X_{H1}} = 99.296$$

$$X_{1.2.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B2} \cdot n_1 \cdot X_{H2}}{n_1 \cdot X_{B2} + n_1 \cdot X_{H2}} = 355.603$$

$$X_{1.3.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B5} \cdot n_1 \cdot X_{H5}}{n_1 \cdot X_{B5} + n_1 \cdot X_{H5}} = 177.802$$

$$X_{1.10.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B7} \cdot n_1 \cdot X_{H7}}{n_1 \cdot X_{R7} + n_1 \cdot X_{H7}} = 333.333$$

$$X_{1.11.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B8} \cdot n_1 \cdot X_{H8}}{n_1 \cdot X_{R8} + n_1 \cdot X_{H8}} = 145.774$$

$$X_{1.4.5} := n_1 \cdot X_{B3} + n_1 \cdot X_{C3} + \frac{n_1 \cdot X_{B3} \cdot n_1 \cdot X_{C3}}{n_1 \cdot X_{H3}} = 825$$

$$X_{1.5.5} := n_1 \cdot X_{B3} + n_1 \cdot X_{H3} = 1.45 \times 10^3$$

$$X_{1.6.5} := n_1 \cdot X_{H3} + n_1 \cdot X_{C3} + \frac{n_1 \cdot X_{H3} \cdot n_1 \cdot X_{C3}}{n_1 \cdot X_{B3}} = 625$$

$$X_{1.9.5} := n_1 \cdot X_{B3} + n_1 \cdot X_{H3} = 1.45 \times 10^3$$

$$X_{1.14.5} := \frac{X_{CO\text{н}285B_{\tau.5}} \cdot X_{1.5.5}}{X_{CO\text{н}285B_{\tau.5}} + X_{1.5.5}} = 1.871 \times 10^3$$

$$X_{1.15.5} := \frac{X_{CB_{\tau}Xa.5} \cdot X_{1.10.5}}{X_{CB_{\tau}Xa.5} + X_{1.10.5}} = 335.08$$

$$X_{1.16.5} := \frac{X_{CXa3a\text{в}.5} \cdot X_{1.11.5}}{X_{CXa3a\text{в}.5} + X_{1.11.5}} = 146.492$$

$$X_{1.17.5} := X_{A\text{муп}On18.5} + X_{On18On285.5} + \frac{X_{A\text{муп}On18.5} \cdot X_{On18On285.5}}{X_{1.12.5}} = 142.332$$

$$X_{1.18.5} := X_{A\text{муп}On18.5} + X_{1.12.5} + \frac{X_{A\text{муп}On18.5} \cdot X_{1.12.5}}{X_{On18On285.5}} = 440.914$$

$$X_{1.19.5} := X_{On18On285.5} + X_{1.12.5} + \frac{X_{On18On285.5} \cdot X_{1.12.5}}{X_{A\text{муп}On18.5}} = 7.661 \times 10^3$$

$$X_{1.20.5} := X_{On285B_{\tau.5}} + X_{1.4.5} + \frac{X_{On285B_{\tau.5}} \cdot X_{1.4.5}}{X_{1.14.5}} = 851.304$$

$$\begin{aligned}
 X_{1.21.5} &:= X_{\text{Om285B}_\tau.5} + X_{1.14.5} + \frac{X_{\text{Om285B}_\tau.5} \cdot X_{1.14.5}}{X_{1.4.5}} = 1.93 \times 10^3 \\
 X_{1.22.5} &:= X_{1.4.5} + X_{1.14.5} + \frac{X_{1.4.5} \cdot X_{1.14.5}}{X_{\text{Om285B}_\tau.5}} = 8.725 \times 10^4 \\
 X_{1.23.5} &:= X_{1.7.5} + X_{\text{B}_\tau \text{Xв.5}} + \frac{X_{1.7.5} \cdot X_{\text{B}_\tau \text{Xв.5}}}{X_{1.9.5}} = 1.109 \times 10^3 \\
 X_{1.24.5} &:= X_{1.9.5} + X_{1.7.5} + \frac{X_{1.9.5} \cdot X_{1.7.5}}{X_{\text{B}_\tau \text{Xв.5}}} = 8.891 \times 10^3 \\
 X_{1.25.5} &:= X_{1.9.5} + X_{\text{B}_\tau \text{Xв.5}} + \frac{X_{1.9.5} \cdot X_{\text{B}_\tau \text{Xв.5}}}{X_{1.7.5}} = 1.949 \times 10^3 & X_{1.26.5} &:= \frac{X_{1.1.5} \cdot X_{1.18.5}}{X_{1.1.5} + X_{1.18.5}} = 81.045 \\
 X_{1.27.5} &:= \frac{X_{1.19.5} \cdot X_{1.13.5} \cdot X_{1.21.5}}{X_{1.10.5} \cdot X_{1.13.5} + X_{1.10.5} \cdot X_{1.21.5} + X_{1.13.5} \cdot X_{1.21.5}} = 159.963 & X_{1.28.5} &:= \frac{X_{1.25.5} \cdot X_{1.15.5}}{X_{1.25.5} + X_{1.15.5}} = 285.914 \\
 X_{1.29.5} &:= X_{1.17.5} + X_{1.20.5} + \frac{X_{1.17.5} \cdot X_{1.20.5}}{X_{1.27.5}} = 1.751 \times 10^3 \\
 X_{1.30.5} &:= X_{1.27.5} + X_{1.17.5} + \frac{X_{1.27.5} \cdot X_{1.17.5}}{X_{1.20.5}} = 329.04 \\
 X_{1.31.5} &:= X_{1.27.5} + X_{1.20.5} + \frac{X_{1.27.5} \cdot X_{1.20.5}}{X_{1.17.5}} = 1.968 \times 10^3 & X_{1.35.5} &:= \frac{X_{1.26.5} \cdot X_{1.30.5}}{X_{1.26.5} + X_{1.30.5}} = 65.028 \\
 X_{1.32.5} &:= X_{1.23.5} + X_{\text{Xв3ав.5}} + \frac{X_{1.23.5} \cdot X_{\text{Xв3ав.5}}}{X_{1.28.5}} = 1.519 \times 10^3 & X_{1.36.5} &:= \frac{X_{1.22.5} \cdot X_{1.31.5}}{X_{1.22.5} + X_{1.31.5}} = 1.925 \times 10^3 \\
 X_{1.33.5} &:= X_{1.28.5} + X_{1.23.5} + \frac{X_{1.28.5} \cdot X_{1.23.5}}{X_{\text{Xв3ав.5}}} = 5.162 \times 10^3 & X_{1.37.5} &:= \frac{X_{1.24.5} \cdot X_{1.33.5}}{X_{1.24.5} + X_{1.33.5}} = 3.266 \times 10^3 \\
 X_{1.34.5} &:= X_{1.28.5} + X_{\text{Xв3ав.5}} + \frac{X_{1.28.5} \cdot X_{\text{Xв3ав.5}}}{X_{1.23.5}} = 391.763 & X_{1.38.5} &:= \frac{X_{1.16.5} \cdot X_{1.34.5}}{X_{1.16.5} + X_{1.34.5}} = 106.623 \\
 X_{1.39.5} &:= \frac{X_{1.29.5} \cdot X_{1.36.5}}{X_{1.29.5} + X_{1.36.5}} = 916.883 & X_{1.40.5} &:= \frac{X_{1.32.5} \cdot X_{1.37.5}}{X_{1.32.5} + X_{1.37.5}} = 1.037 \times 10^3 \\
 X_{1.эквI.5} &:= \frac{X_{1.35.5} \cdot X_{1.39.5}}{X_{1.35.5} + X_{1.39.5}} = 60.721 & X_{1.эквII.5} &:= \frac{X_{1.38.5} \cdot X_{1.40.5}}{X_{1.38.5} + X_{1.40.5}} = 96.681
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на X6 и X8:

$$K_{1.1.5} := \frac{X_{1.эквI.5}}{X_{1.6.5} + X_{1.эквI.5}} = 0.089 \qquad K_{1.10.5} := \frac{X_{1.эквII.5}}{X_{1.8.5} + X_{1.эквII.5}} = 0.134$$

Ток, протекающий на X6 и X8:

$$\begin{aligned}
 I_{1.1.5} &:= K_{1.1.5} \cdot I_1 = 5.457 \text{ А} & I_{1.10.5} &:= K_{1.10.5} \cdot I_1 = 8.256 \text{ А} \\
 U_{1.1.5} &:= I_{1.1.5} \cdot X_{1.6.5} = 3.411 \times 10^3 \text{ В} & U_{1.10.5} &:= I_{1.10.5} \cdot X_{1.8.5} = 5.16 \times 10^3 \text{ В}
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на X4 и X7:

$$K_{1.2.5} := \frac{X_{1.6.5}}{X_{1.6.5} + X_{1.эквI.5}} = 0.911 \qquad K_{1.11.5} := \frac{X_{1.7.5}}{X_{1.7.5} + X_{1.эквII.5}} = 0.895$$

Ток, протекающий на X4 и X7:

$$\begin{aligned}
 I_{1.2.5} &:= K_{1.2.5} \cdot I_1 = 56.173 \text{ А} & I_{1.11.5} &:= K_{1.11.5} \cdot I_1 = 55.165 \text{ А} \\
 U_{1.2.5} &:= I_{1.2.5} \cdot X_{1.эквI.5} = 3.411 \times 10^3 \text{ В} & U_{1.11.5} &:= I_{1.11.5} \cdot X_{1.эквII.5} = 5.333 \times 10^3 \text{ В}
 \end{aligned}$$

2 эквивалент

$$X_{1.41.5} := \frac{X_{CAмурОн18.5} \cdot X_{1.2.5}}{X_{CAмурОн18.5} + X_{1.2.5}} = 409.72 \quad X_{1.43.5} := \frac{X_{CB_rXв.5} \cdot X_{1.10.5}}{X_{CB_rXв.5} + X_{1.10.5}} = 335.08$$

$$X_{1.42.5} := \frac{X_{COн18Он285.5} \cdot X_{1.3.5}}{X_{COн18Он285.5} + X_{1.3.5}} = 178.48 \quad X_{1.44.5} := \frac{X_{CXв3ав.5} \cdot X_{1.11.5}}{X_{CXв3ав.5} + X_{1.11.5}} = 146.492$$

$$X_{1.45.5} := X_{On285Б_т.5} + X_{On18Он285.5} + \frac{X_{On285Б_т.5} \cdot X_{On18Он285.5}}{X_{1.42.5}} = 164.043$$

$$X_{1.46.5} := X_{On18Он285.5} + X_{1.42.5} + \frac{X_{On18Он285.5} \cdot X_{1.42.5}}{X_{On285Б_т.5}} = 1.604 \times 10^3$$

$$X_{1.47.5} := X_{On285Б_т.5} + X_{1.42.5} + \frac{X_{On285Б_т.5} \cdot X_{1.42.5}}{X_{On18Он285.5}} = 221.367$$

$$X_{1.48.5} := X_{Б_rXв.5} + X_{Xв3ав.5} + \frac{X_{Б_rXв.5} \cdot X_{Xв3ав.5}}{X_{1.43.5}} = 310.362$$

$$X_{1.49.5} := X_{Б_rXв.5} + X_{1.43.5} + \frac{X_{Б_rXв.5} \cdot X_{1.43.5}}{X_{Xв3ав.5}} = 1.236 \times 10^3$$

$$X_{1.50.5} := X_{Xв3ав.5} + X_{1.43.5} + \frac{X_{Xв3ав.5} \cdot X_{1.43.5}}{X_{Б_rXв.5}} = 575.175 \quad X_{1.52.5} := \frac{X_{COн285Б_т.5} \cdot X_{1.47.5}}{X_{COн285Б_т.5} + X_{1.47.5}} = 229.238$$

$$X_{1.51.5} := \frac{X_{1.41.5} \cdot X_{1.46.5}}{X_{1.41.5} + X_{1.46.5}} = 326.354 \quad X_{1.53.5} := \frac{X_{1.50.5} \cdot X_{1.44.5}}{X_{1.50.5} + X_{1.44.5}} = 116.756$$

$$X_{1.54.5} := X_{АмурОн18.5} + X_{1.45.5} + \frac{X_{АмурОн18.5} \cdot X_{1.45.5}}{X_{1.51.5}} = 175.482$$

$$X_{1.55.5} := X_{АмурОн18.5} + X_{1.51.5} + \frac{X_{АмурОн18.5} \cdot X_{1.51.5}}{X_{1.45.5}} = 349.111$$

$$X_{1.56.5} := X_{1.51.5} + X_{1.45.5} + \frac{X_{1.51.5} \cdot X_{1.45.5}}{X_{АмурОн18.5}} = 7.523 \times 10^3$$

$$X_{1.57.5} := \frac{X_{1.48.5} \cdot X_{1.49.5}}{X_{1.48.5} + X_{1.49.5}} = 248.066 \quad X_{1.59.5} := \frac{X_{1.56.5} \cdot X_{1.52.5}}{X_{1.56.5} + X_{1.52.5}} = 222.459$$

$$X_{1.58.5} := \frac{X_{1.1.5} \cdot X_{1.55.5}}{X_{1.1.5} + X_{1.55.5}} = 77.308 \quad X_{1.эвIII.5} := \frac{X_{1.57.5} \cdot X_{1.53.5}}{X_{1.57.5} + X_{1.53.5}} = 79.39$$

$$X_{1.60.5} := \frac{X_{1.59.5} \cdot X_{1.54.5}}{X_{1.59.5} + X_{1.54.5}} = 98.099 \quad X_{1.эвIV.5} := \frac{X_{1.58.5} \cdot X_{1.60.5}}{X_{1.58.5} + X_{1.60.5}} = 43.236$$

Коэф. для тока, протекающего на X5 и X9

$$K_{1.3.5} := \frac{X_{1.эвIV.5}}{X_{1.5.5} + X_{1.эвIV.5}} = 0.029 \quad K_{1.12.5} := \frac{X_{1.эвIII.5}}{X_{1.9.5} + X_{1.эвIII.5}} = 0.052$$

Ток, протекающий на X5 и X9:

$$I_{1.3.5} := K_{1.3.5} \cdot I_{1.2.5} = 1.626 \text{ А} \quad I_{1.12.5} := K_{1.12.5} \cdot I_{1.11.5} = 2.864 \text{ А}$$

$$U_{1.3.5} := I_{1.3.5} \cdot X_{1.5.5} = 2.358 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.12.5} := I_{1.12.5} \cdot X_{1.9.5} = 4.152 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Он285Бел/т и Бел/тXв:

$$K_{1.4.5} := \frac{X_{1.5.5}}{X_{1.5.5} + X_{1.эвIV.5}} = 0.971 \quad K_{1.13.5} := \frac{X_{1.9.5}}{X_{1.9.5} + X_{1.эвIII.5}} = 0.948$$

Ток, протекающий на линиях Оп285Бел/т и Бел/тХв:

$$I_{1.4.5} := K_{1.4.5} \cdot I_{1.2.5} = 54.546 \text{ А} \quad I_{1.13.5} := K_{1.13.5} \cdot I_{1.11.5} = 52.302 \text{ А}$$

$$U_{1.4.5} := I_{1.4.5} \cdot X_{1.эквIV.5} = 2.358 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.13.5} := I_{1.13.5} \cdot X_{1.эквIII.5} = 4.152 \times 10^3 \text{ В}$$

3 эквивалент

$$X_{1.61.5} := \frac{X_{САмурОп18.5} \cdot X_{1.2.5}}{X_{САмурОп18.5} + X_{1.2.5}} = 409.72$$

$$X_{1.62.5} := \frac{X_{ХвЗав.5} \cdot X_{СХвЗав.5}}{X_{ХвЗав.5} + X_{СХвЗав.5}} = 84.387$$

$$X_{1.63.5} := X_{АмурОп18.5} + X_{Оп18Оп285.5} + \frac{X_{АмурОп18.5} \cdot X_{Оп18Оп285.5}}{X_{1.61.5}} = 142.332$$

$$X_{1.64.5} := X_{1.61.5} + X_{АмурОп18.5} + \frac{X_{1.61.5} \cdot X_{АмурОп18.5}}{X_{1.61.5} + X_{АмурОп18.5}} = 440.914$$

$$X_{1.65.5} := X_{1.61.5} + X_{Оп18Оп285.5} + \frac{X_{1.61.5} \cdot X_{Оп18Оп285.5}}{X_{АмурОп18.5}} = 7.661 \times 10^3$$

$$X_{1.эквV.5} := \frac{X_{1.62.5} \cdot X_{1.11.5}}{X_{1.62.5} + X_{1.11.5}} = 53.447 \quad X_{1.67.5} := \frac{X_{СОп285Б_т.5} \cdot X_{1.65.5}}{X_{СОп285Б_т.5} + X_{1.65.5}} = -4.07 \times 10^4$$

$$X_{1.66.5} := \frac{X_{1.1.5} \cdot X_{1.64.5}}{X_{1.1.5} + X_{1.64.5}} = 81.045 \quad X_{1.68.5} := \frac{X_{1.63.5} \cdot X_{1.67.5}}{X_{1.63.5} + X_{1.67.5}} = 142.831$$

$$X_{1.эквVI.5} := \frac{X_{1.66.5} \cdot X_{1.68.5}}{X_{1.66.5} + X_{1.68.5}} = 51.706$$

Коэф. для тока протекающего на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная

$$K_{1.5.5} := \frac{X_{1.эквVI.5}}{X_{1.3.5} + X_{1.эквVI.5}} = 0.225 \quad K_{1.14.5} := \frac{X_{1.эквV.5}}{X_{1.10.5} + X_{1.эквV.5}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.5.5} := K_{1.5.5} \cdot I_{1.4.5} = 12.289 \text{ А} \quad I_{1.14.5} := K_{1.14.5} \cdot I_{1.13.5} = 7.227 \text{ А}$$

$$U_{1.5.5} := I_{1.5.5} \cdot X_{1.3.5} = 2.185 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.14.5} := I_{1.14.5} \cdot X_{1.10.5} = 2.409 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$K_{1.6.5} := \frac{X_{1.3.5}}{X_{1.3.5} + X_{1.эквVI.5}} = 0.775 \quad K_{1.15.5} := \frac{X_{1.10.5}}{X_{1.10.5} + X_{1.эквV.5}} = 0.862$$

Ток, протекающий на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$I_{1.6.5} := K_{1.6.5} \cdot I_{1.4.5} = 42.257 \text{ А} \quad I_{1.15.5} := K_{1.15.5} \cdot I_{1.13.5} = 45.074 \text{ А}$$

$$U_{1.6.5} := I_{1.6.5} \cdot X_{1.эквVI.5} = 2.185 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.15.5} := I_{1.15.5} \cdot X_{1.эквV.5} = 2.409 \times 10^3 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$X_{1.69.5} := \frac{X_{САмурОп18.5} \cdot X_{АмурОп18.5}}{X_{САмурОп18.5} + X_{АмурОп18.5}} = 7.634$$

$$X_{1.эквVII.5} := \frac{X_{1.1.5} \cdot X_{1.69.5}}{X_{1.1.5} + X_{1.69.5}} = 7.089$$

$$X_{1.70.5} := X_{Б_тХв.5} + X_{1.7.5} + \frac{X_{Б_тХв.5} \cdot X_{1.7.5}}{X_{1.9.5}} = 1.109 \times 10^3$$

$$X_{1.71.5} := X_{1.7.5} + X_{1.9.5} + \frac{X_{1.7.5} \cdot X_{1.9.5}}{X_{Б_рХв.5}} = 8.891 \times 10^3$$

$$X_{1.72.5} := X_{Б_рХв.5} + X_{1.9.5} + \frac{X_{Б_рХв.5} \cdot X_{1.9.5}}{X_{1.7.5}} = 1.949 \times 10^3$$

$$X_{1.73.5} := \frac{X_{СБ_рХв.5} \cdot X_{1.10.5}}{X_{СБ_рХв.5} + X_{1.10.5}} = 335.08$$

$$X_{1.74.5} := \frac{X_{1.8.5} \cdot X_{1.71.5}}{X_{1.8.5} + X_{1.71.5}} = 583.951$$

$$X_{1.75.5} := \frac{X_{1.72.5} \cdot X_{1.73.5}}{X_{1.72.5} + X_{1.73.5}} = 285.914$$

$$X_{1.76.5} := X_{Хв3ав.5} + X_{1.70.5} + \frac{X_{Хв3ав.5} \cdot X_{1.70.5}}{X_{1.75.5}} = 1.519 \times 10^3$$

$$X_{1.77.5} := X_{1.70.5} + X_{1.75.5} + \frac{X_{1.70.5} \cdot X_{1.75.5}}{X_{Хв3ав.5}} = 5.162 \times 10^3 \quad X_{1.79.5} := \frac{X_{1.74.5} \cdot X_{1.77.5}}{X_{1.74.5} + X_{1.77.5}} = 524.601$$

$$X_{1.78.5} := X_{Хв3ав.5} + X_{1.75.5} + \frac{X_{Хв3ав.5} \cdot X_{1.75.5}}{X_{1.70.5}} = 391.763 \quad X_{1.80.5} := \frac{X_{1.78.5} \cdot X_{СХв3ав.5}}{X_{1.78.5} + X_{СХв3ав.5}} = 396.996$$

$$X_{1.81.5} := \frac{X_{1.76.5} \cdot X_{1.80.5}}{X_{1.76.5} + X_{1.80.5}} = 314.744 \quad X_{1.эквVIII.5} := \frac{X_{1.81.5} \cdot X_{1.79.5}}{X_{1.81.5} + X_{1.79.5}} = 196.719$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС С вободный и ПС Завитая:

$$K_{1.7.5} := \frac{X_{1.эквVII.5}}{X_{1.2.5} + X_{1.эквVII.5}} = 0.02 \quad K_{1.16.5} := \frac{X_{1.эквVIII.5}}{X_{1.11.5} + X_{1.эквVIII.5}} = 0.574$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.7.5} := K_{1.7.5} \cdot I_{1.6.5} = 0.826 \text{ А} \quad I_{1.16.5} := K_{1.16.5} \cdot I_{1.15.5} = 25.89 \text{ А}$$

$$U_{1.7.5} := I_{1.7.5} \cdot X_{1.2.5} = 293.71 \text{ В} \quad U_{1.16.5} := I_{1.16.5} \cdot X_{1.11.5} = 3.774 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Амур Оп18:

$$K_{1.8.5} := \frac{X_{1.2.5}}{X_{1.2.5} + X_{1.эквVII.5}} = 0.98$$

Ток, протекающий на линиях Амур Оп18:

$$I_{1.8.5} := K_{1.8.5} \cdot I_{1.6.5} = 41.431 \text{ А}$$

$$U_{1.8.5} := I_{1.8.5} \cdot X_{1.эквVII.5} = 293.71 \text{ В}$$

5 эквивалент

$$X_{1.82.5} := \frac{X_{САмурОп18.5} \cdot X_{1.2.5}}{X_{САмурОп18.5} + X_{1.2.5}} = 409.72$$

$$X_{1.83.5} := \frac{X_{СОп18Оп285.5} \cdot X_{1.3.5}}{X_{СОп18Оп285.5} + X_{1.3.5}} = 178.48$$

$$X_{1.84.5} := \frac{X_{СОп285Б_р.5} \cdot X_{1.5.5}}{X_{СОп285Б_р.5} + X_{1.5.5}} = 1.871 \times 10^3$$

$$X_{1.85.5} := X_{\text{АмурОн18.5}} + X_{\text{Он18Он285.5}} + \frac{X_{\text{АмурОн18.5}} \cdot X_{\text{Он18Он285.5}}}{X_{1.82.5}} = 142.332$$

$$X_{1.86.5} := X_{\text{АмурОн18.5}} + X_{1.82.5} + \frac{X_{\text{АмурОн18.5}} \cdot X_{1.82.5}}{X_{\text{Он18Он285.5}}} = 440.914$$

$$X_{1.87.5} := X_{\text{Он18Он285.5}} + X_{1.82.5} + \frac{X_{\text{Он18Он285.5}} \cdot X_{1.82.5}}{X_{\text{АмурОн18.5}}} = 7.661 \times 10^3$$

$$X_{1.88.5} := X_{\text{Он285Б_т.5}} + X_{1.4.5} + \frac{X_{\text{Он285Б_т.5}} \cdot X_{1.4.5}}{X_{1.84.5}} = 851.304$$

$$X_{1.89.5} := X_{\text{Он285Б_т.5}} + X_{1.84.5} + \frac{X_{\text{Он285Б_т.5}} \cdot X_{1.84.5}}{X_{1.4.5}} = 1.93 \times 10^3$$

$$X_{1.90.5} := X_{1.4.5} + X_{1.84.5} + \frac{X_{1.4.5} \cdot X_{1.84.5}}{X_{\text{Он285Б_т.5}}} = 8.725 \times 10^4$$

$$X_{1.91.5} := \frac{X_{1.87.5} \cdot X_{1.83.5} \cdot X_{1.89.5}}{X_{1.87.5} \cdot X_{1.83.5} + X_{1.87.5} \cdot X_{1.89.5} + X_{1.83.5} \cdot X_{1.89.5}} = 159.963$$

$$X_{1.92.5} := \frac{X_{1.90.5} \cdot X_{1.6.5}}{X_{1.90.5} + X_{1.6.5}} = 620.555$$

$$X_{1.93.5} := X_{1.85.5} + X_{1.88.5} + \frac{X_{1.85.5} \cdot X_{1.88.5}}{X_{1.01.5}} = 1.751 \times 10^3$$

$$X_{1.94.5} := X_{1.85.5} + X_{1.91.5} + \frac{X_{1.85.5} \cdot X_{1.91.5}}{X_{1.88.5}} = 329.04$$

$$X_{1.96.5} := \frac{X_{1.86.5} \cdot X_{1.94.5}}{X_{1.86.5} + X_{1.94.5}} = 188.425$$

$$X_{1.95.5} := X_{1.88.5} + X_{1.91.5} + \frac{X_{1.88.5} \cdot X_{1.91.5}}{X_{1.85.5}} = 1.968 \times 10^3$$

$$X_{1.97.5} := \frac{X_{1.95.5} \cdot X_{1.92.5}}{X_{1.95.5} + X_{1.92.5}} = 471.791$$

$$X_{1.98.5} := \frac{X_{1.93.5} \cdot X_{1.97.5}}{X_{1.93.5} + X_{1.97.5}} = 371.657 \quad X_{1.эвдГХ.5} := \frac{X_{1.98.5} \cdot X_{1.96.5}}{X_{1.98.5} + X_{1.96.5}} = 125.034$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{1.9.5} := \frac{X_{1.эвдГХ.5}}{X_{1.1.5} + X_{1.эвдГХ.5}} = 0.557$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{1.0.5} := K_{1.0.5} \cdot I_{1.8.5} = 23.092 \text{ А}$$

$$U_{1.9.5} := I_{1.9.5} \cdot X_{1.1.5} = 2.293 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 7 гармонике:

$$n_7 := 7$$

$$X_{\text{САмурОн18.7}} := \frac{-(3.46 + 0.04)}{n_2 \cdot b_{\text{уд240}}} = -1.923 \times 10^3 \quad X_{\text{АмурОн18.7}} := n_2 \cdot X_{\text{уд240}} \cdot (3.46 + 0.04) = 10.657$$

$$X_{\text{СОн18Он285.7}} := \frac{-(60.74 + 0.07)}{n_2 \cdot b_{\text{уд240}}} = -3.341 \times 10^4 \quad X_{\text{Он18Он285.7}} := n_2 \cdot X_{\text{уд240}} \cdot (60.74 + 0.07) = 185.166$$

$$X_{\text{Он285Б_т.7}} := n_2 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 8.51 = 25.556$$

$$\begin{aligned}
 X_{COn285B_{\tau.7}} &:= \frac{-8.51}{n_2 \cdot b_{y\alpha 300}} = -4.605 \times 10^3 & X_{B_{\tau}X_{\alpha.7}} &:= n_2 \cdot X_{y\alpha 240} \cdot (82.24 + 0.89) = 253.131 \\
 X_{CB_{\tau}X_{\alpha.7}} &:= \frac{-(82.24 + 0.89)}{n_2 \cdot b_{y\alpha 240}} = -4.568 \times 10^4 & X_{X_{\alpha}3\alpha.7} &:= n_2 \cdot X_{y\alpha 300} \cdot 39.23 = 117.808 \\
 X_{CX_{\alpha}3\alpha.7} &:= \frac{-39.23}{n_2 \cdot b_{y\alpha 300}} = -2.123 \times 10^4 & X_{1.1.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{B1} \cdot n_2 \cdot X_{H1}}{n_2 \cdot X_{R1} + n_2 \cdot X_{H1}} = 139.015 \\
 X_{1.10.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{B7} \cdot n_2 \cdot X_{H7}}{n_2 \cdot X_{B7} + n_2 \cdot X_{H7}} = 466.667 & X_{1.2.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{B2} \cdot n_2 \cdot X_{H2}}{n_2 \cdot X_{B2} + n_2 \cdot X_{H2}} = 497.845 \\
 X_{1.11.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{B8} \cdot n_2 \cdot X_{H8}}{n_2 \cdot X_{B8} + n_2 \cdot X_{H8}} = 204.083 & X_{1.3.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{B5} \cdot n_2 \cdot X_{H5}}{n_2 \cdot X_{B5} + n_2 \cdot X_{H5}} = 248.922 \\
 X_{1.4.7} &:= n_2 X_{B3} + n_2 \cdot X_{C3} + \frac{n_2 \cdot X_{B3} \cdot n_2 \cdot X_{C3}}{n_2 \cdot X_{H3}} = 1.155 \times 10^3 \\
 X_{1.5.7} &:= n_2 \cdot X_{B3} + n_2 \cdot X_{H3} = 2.03 \times 10^3 \\
 X_{1.6.7} &:= n_2 \cdot X_{H3} + n_2 \cdot X_{C3} + \frac{n_2 \cdot X_{H3} \cdot n_2 \cdot X_{C3}}{n_2 \cdot X_{R3}} = 875 \\
 X_{1.7.7} &:= n_2 \cdot X_{B3} + n_2 \cdot X_{C3} + \frac{n_2 \cdot X_{B3} \cdot n_2 \cdot X_{C3}}{n_2 \cdot X_{H3}} = 1.155 \times 10^3 \\
 X_{1.8.7} &:= n_2 \cdot X_{H3} + n_2 \cdot X_{C3} + \frac{n_2 \cdot X_{H3} \cdot n_2 \cdot X_{C3}}{n_2 \cdot X_{B3}} = 875 & X_{1.9.7} &:= n_2 \cdot X_{B3} + n_2 \cdot X_{H3} = 2.03 \times 10^3
 \end{aligned}$$

1 эквивалент

$$\begin{aligned}
 X_{1.12.7} &:= \frac{X_{CA_{\mu\nu}On18.7} \cdot X_{1.2.7}}{X_{CA_{\mu\nu}On18.7} + X_{1.2.7}} = 671.746 & X_{1.15.7} &:= \frac{X_{CB_{\tau}X_{\alpha.7}} \cdot X_{1.10.7}}{X_{CB_{\tau}X_{\alpha.7}} + X_{1.10.7}} = 471.484 \\
 X_{1.13.7} &:= \frac{X_{COn18On285.7} \cdot X_{1.3.7}}{X_{COn18On285.7} + X_{1.3.7}} = 250.791 & X_{1.16.7} &:= \frac{X_{CX_{\alpha}3\alpha.7} \cdot X_{1.11.7}}{X_{CX_{\alpha}3\alpha.7} + X_{1.11.7}} = 206.064 \\
 X_{1.14.7} &:= \frac{X_{COn285B_{\tau.7}} \cdot X_{1.5.7}}{X_{COn285B_{\tau.7}} + X_{1.5.7}} = 3.63 \times 10^3 \\
 X_{1.17.7} &:= X_{A_{\mu\nu}On18.7} + X_{On18On285.7} + \frac{X_{A_{\mu\nu}On18.7} \cdot X_{On18On285.7}}{X_{1.12.7}} = 198.762 \\
 X_{1.18.7} &:= X_{A_{\mu\nu}On18.7} + X_{1.12.7} + \frac{X_{A_{\mu\nu}On18.7} \cdot X_{1.12.7}}{X_{On18On285.7}} = 721.067 \\
 X_{1.19.7} &:= X_{On18On285.7} + X_{1.12.7} + \frac{X_{On18On285.7} \cdot X_{1.12.7}}{X_{A_{\mu\nu}On18.7}} = 1.253 \times 10^4 \\
 X_{1.20.7} &:= X_{On285B_{\tau.7}} + X_{1.4.7} + \frac{X_{On285B_{\tau.7}} \cdot X_{1.4.7}}{X_{1.14.7}} = 1.189 \times 10^3 \\
 X_{1.21.7} &:= X_{On285B_{\tau.7}} + X_{1.14.7} + \frac{X_{On285B_{\tau.7}} \cdot X_{1.14.7}}{X_{1.4.7}} = 3.736 \times 10^3 \\
 X_{1.22.7} &:= X_{1.4.7} + X_{1.14.7} + \frac{X_{1.4.7} \cdot X_{1.14.7}}{X_{On285B_{\tau.7}}} = 1.689 \times 10^5 \\
 X_{1.23.7} &:= X_{1.7.7} + X_{B_{\tau}X_{\alpha.7}} + \frac{X_{1.7.7} \cdot X_{B_{\tau}X_{\alpha.7}}}{X_{1.9.7}} = 1.552 \times 10^3 \\
 X_{1.24.7} &:= X_{1.9.7} + X_{1.7.7} + \frac{X_{1.9.7} \cdot X_{1.7.7}}{X_{B_{\tau}X_{\alpha.7}}} = 1.245 \times 10^4 \\
 .. & .. & X_{1.9.7} \cdot X_{B_{\tau}X_{\alpha.7}} & \times 10^3
 \end{aligned}$$

$$X_{1.25.7} := X_{1.9.7} + X_{B_rXв.7} + \frac{-}{X_{1.7.7}} = 2.728 \times 10$$

$$X_{1.26.7} := \frac{X_{1.1.7} \cdot X_{1.18.7}}{X_{1.1.7} + X_{1.18.7}} = 116.546$$

$$X_{1.27.7} := \frac{X_{1.19.7} \cdot X_{1.13.7} \cdot X_{1.21.7}}{X_{1.10.7} \cdot X_{1.13.7} + X_{1.10.7} \cdot X_{1.21.7} + X_{1.13.7} \cdot X_{1.21.7}} = 230.688$$

$$X_{1.28.7} := \frac{X_{1.25.7} \cdot X_{1.15.7}}{X_{1.25.7} + X_{1.15.7}} = 402.005$$

$$X_{1.29.7} := X_{1.17.7} + X_{1.20.7} + \frac{X_{1.17.7} \cdot X_{1.20.7}}{X_{1.27.7}} = 2.412 \times 10^3$$

$$X_{1.30.7} := X_{1.27.7} + X_{1.17.7} + \frac{X_{1.27.7} \cdot X_{1.17.7}}{X_{1.20.7}} = 468.023$$

$$X_{1.31.7} := X_{1.27.7} + X_{1.20.7} + \frac{X_{1.27.7} \cdot X_{1.20.7}}{X_{1.17.7}} = 2.799 \times 10^3$$

$$X_{1.32.7} := X_{1.23.7} + X_{Xв3ав.7} + \frac{X_{1.23.7} \cdot X_{Xв3ав.7}}{X_{1.28.7}} = 2.125 \times 10^3$$

$$X_{1.33.7} := X_{1.28.7} + X_{1.23.7} + \frac{X_{1.28.7} \cdot X_{1.23.7}}{X_{Xв3ав.7}} = 7.251 \times 10^3$$

$$X_{1.34.7} := X_{1.28.7} + X_{Xв3ав.7} + \frac{X_{1.28.7} \cdot X_{Xв3ав.7}}{X_{1.23.7}} = 550.325$$

$$X_{1.35.7} := \frac{X_{1.26.7} \cdot X_{1.30.7}}{X_{1.26.7} + X_{1.30.7}} = 93.31$$

$$X_{1.38.7} := \frac{X_{1.16.7} \cdot X_{1.34.7}}{X_{1.16.7} + X_{1.34.7}} = 149.926$$

$$X_{1.36.7} := \frac{X_{1.22.7} \cdot X_{1.31.7}}{X_{1.22.7} + X_{1.31.7}} = 2.753 \times 10^3$$

$$X_{1.39.7} := \frac{X_{1.29.7} \cdot X_{1.36.7}}{X_{1.29.7} + X_{1.36.7}} = 1.286 \times 10^3$$

$$X_{1.37.7} := \frac{X_{1.24.7} \cdot X_{1.33.7}}{X_{1.24.7} + X_{1.33.7}} = 4.582 \times 10^3$$

$$X_{1.40.7} := \frac{X_{1.32.7} \cdot X_{1.37.7}}{X_{1.32.7} + X_{1.37.7}} = 1.452 \times 10^3$$

$$X_{1.эквI.7} := \frac{X_{1.35.7} \cdot X_{1.39.7}}{X_{1.35.7} + X_{1.39.7}} = 86.996$$

$$X_{1.эквII.7} := \frac{X_{1.38.7} \cdot X_{1.40.7}}{X_{1.38.7} + X_{1.40.7}} = 135.891$$

Коэф. для тока, протекающего на X6 и X8:

$$K_{1.1.7} := \frac{X_{1.эквI.7}}{X_{1.6.7} + X_{1.эквI.7}} = 0.09$$

$$K_{1.10.7} := \frac{X_{1.эквII.7}}{X_{1.8.7} + X_{1.эквII.7}} = 0.134$$

Ток, протекающий на X6 и X8:

$$I_{1.1.7} := K_{1.1.7} \cdot I_1 = 5.573 \text{ А}$$

$$I_{1.10.7} := K_{1.10.7} \cdot I_1 = 8.285 \text{ А}$$

$$U_{1.1.7} := I_{1.1.7} \cdot X_{1.6.7} = 4.877 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.10.7} := I_{1.10.7} \cdot X_{1.8.7} = 5.178 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на X4 и X7:

$$K_{1.2.7} := \frac{X_{1.6.7}}{X_{1.6.7} + X_{1.эквI.7}} = 0.91$$

$$K_{1.11.7} := \frac{X_{1.7.7}}{X_{1.7.7} + X_{1.эквII.7}} = 0.895$$

Ток, протекающий на X4 и X7:

$$I_{1.2.7} := K_{1.2.7} \cdot I_1 = 56.057 \text{ А}$$

$$I_{1.11.7} := K_{1.11.7} \cdot I_1 = 55.142 \text{ А}$$

$$U_{1.2.7} := I_{1.2.7} \cdot X_{1.эквI.7} = 4.877 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.11.7} := I_{1.11.7} \cdot X_{1.эквII.7} = 7.493 \times 10^3 \text{ В}$$

2 эквивалент

$$X_{1.41.7} := \frac{X_{CA\Delta y p O n 18.7} \cdot X_{1.2.7}}{X_{CA\Delta y p O n 18.7} + X_{1.2.7}} = 671.746 \quad X_{1.43.7} := \frac{X_{CB_rX\Delta.7} \cdot X_{1.10.7}}{X_{CB_rX\Delta.7} + X_{1.10.7}} = 471.484$$

$$X_{1.42.7} := \frac{X_{CO n 18 O n 285.7} \cdot X_{1.3.7}}{X_{CO n 18 O n 285.7} + X_{1.3.7}} = 250.791 \quad X_{1.44.7} := \frac{X_{CX\Delta 3\Delta B.7} \cdot X_{1.11.7}}{X_{CX\Delta 3\Delta B.7} + X_{1.11.7}} = 206.064$$

$$X_{1.45.7} := X_{O n 285 B_r.7} + X_{O n 18 O n 285.7} + \frac{X_{O n 285 B_r.7} \cdot X_{O n 18 O n 285.7}}{X_{1.43.7}} = 229.59$$

$$X_{1.46.7} := X_{O n 18 O n 285.7} + X_{1.42.7} + \frac{X_{O n 18 O n 285.7} \cdot X_{1.42.7}}{X_{O n 285 B_r.7}} = 2.253 \times 10^3$$

$$X_{1.47.7} := X_{O n 285 B_r.7} + X_{1.42.7} + \frac{X_{O n 285 B_r.7} \cdot X_{1.42.7}}{X_{O n 18 O n 285.7}} = 310.959$$

$$X_{1.48.7} := X_{B_rX\Delta.7} + X_{X\Delta 3\Delta B.7} + \frac{X_{B_rX\Delta.7} \cdot X_{X\Delta 3\Delta B.7}}{X_{1.43.7}} = 434.187$$

$$X_{1.49.7} := X_{B_rX\Delta.7} + X_{1.43.7} + \frac{X_{B_rX\Delta.7} \cdot X_{1.43.7}}{X_{X\Delta 3\Delta B.7}} = 1.738 \times 10^3$$

$$X_{1.50.7} := X_{X\Delta 3\Delta B.7} + X_{1.43.7} + \frac{X_{X\Delta 3\Delta B.7} \cdot X_{1.43.7}}{X_{B_rX\Delta.7}} = 808.721$$

$$X_{1.51.7} := \frac{X_{1.41.7} \cdot X_{1.46.7}}{X_{1.41.7} + X_{1.46.7}} = 517.467$$

$$X_{1.52.7} := \frac{X_{CO n 285 B_r.7} \cdot X_{1.47.7}}{X_{CO n 285 B_r.7} + X_{1.47.7}} = 333.478$$

$$X_{1.53.7} := \frac{X_{1.50.7} \cdot X_{1.44.7}}{X_{1.50.7} + X_{1.44.7}} = 164.22$$

$$X_{1.54.7} := X_{A\Delta y p O n 18.7} + X_{1.45.7} + \frac{X_{A\Delta y p O n 18.7} \cdot X_{1.45.7}}{X_{1.51.7}} = 244.976$$

$$X_{1.55.7} := X_{A\Delta y p O n 18.7} + X_{1.51.7} + \frac{X_{A\Delta y p O n 18.7} \cdot X_{1.51.7}}{X_{1.45.7}} = 552.145$$

$$X_{1.56.7} := X_{1.51.7} + X_{1.45.7} + \frac{X_{1.51.7} \cdot X_{1.45.7}}{X_{A\Delta y p O n 18.7}} = 1.189 \times 10^4$$

$$X_{1.57.7} := \frac{X_{1.48.7} \cdot X_{1.49.7}}{X_{1.48.7} + X_{1.49.7}} = 347.387$$

$$X_{1.58.7} := \frac{X_{1.1.7} \cdot X_{1.55.7}}{X_{1.1.7} + X_{1.55.7}} = 111.054$$

$$X_{1.59.7} := \frac{X_{1.56.7} \cdot X_{1.52.7}}{X_{1.56.7} + X_{1.52.7}} = 324.383 \quad X_{1.60.7} := \frac{X_{1.59.7} \cdot X_{1.54.7}}{X_{1.59.7} + X_{1.54.7}} = 139.571$$

$$X_{1.эквIII.7} := \frac{X_{1.57.7} \cdot X_{1.53.7}}{X_{1.57.7} + X_{1.53.7}} = 111.507 \quad X_{1.эквIV.7} := \frac{X_{1.58.7} \cdot X_{1.60.7}}{X_{1.58.7} + X_{1.60.7}} = 61.845$$

Коэф. для тока, протекающего на X5 и X9

$$K_{1.3.7} := \frac{X_{1.эквIV.7}}{X_{1.5.7} + X_{1.эквIV.7}} = 0.03$$

$$K_{1.12.7} := \frac{X_{1.эквIII.7}}{X_{1.9.7} + X_{1.эквIII.7}} = 0.052$$

Ток, протекающий на X5 и X9:

$$I_{1.3.7} := K_{1.3.7} \cdot I_{1.2.7} = 1.657 \text{ А} \quad I_{1.13.7} := K_{1.13.7} \cdot I_{1.11.7} = 2.871 \text{ А}$$

$$U_{1.3.7} := I_{1.3.7} \cdot X_{1.5.7} = 3.364 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.12.7} := I_{1.12.7} \cdot X_{1.9.7} = 5.829 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Оп285 Бел/т и Бел/тХв:

$$K_{1.4.7} := \frac{X_{1.5.7}}{X_{1.5.7} + X_{1.эквIV.7}} = 0.97 \quad K_{1.13.7} := \frac{X_{1.9.7}}{X_{1.9.7} + X_{1.эквIII.7}} = 0.948$$

Ток, протекающий на линиях Оп285Бел/т и Бел/тХв:

$$I_{1.4.7} := K_{1.4.7} \cdot I_{1.2.7} = 54.399 \text{ А} \quad I_{1.13.7} := K_{1.13.7} \cdot I_{1.11.7} = 52.271 \text{ А}$$

$$U_{1.4.7} := I_{1.4.7} \cdot X_{1.эквIV.7} = 3.364 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.13.7} := I_{1.13.7} \cdot X_{1.эквIII.7} = 5.829 \times 10^3 \text{ В}$$

3 эквивалент

$$X_{1.61.7} := \frac{X_{САмурОп18.7} \cdot X_{1.2.7}}{X_{САмурОп18.7} + X_{1.2.7}} = 671.746$$

$$X_{1.62.7} := \frac{X_{ХвЗав.7} \cdot X_{СХвЗав.7}}{X_{ХвЗав.7} + X_{СХвЗав.7}} = 118.465$$

$$X_{1.63.7} := X_{АмурОп18.7} + X_{Оп18Оп285.7} + \frac{X_{АмурОп18.7} \cdot X_{Оп18Оп285.7}}{X_{1.61.7}} = 198.762$$

$$X_{1.64.7} := X_{1.61.7} + X_{АмурОп18.7} + \frac{X_{1.61.7} \cdot X_{АмурОп18.7}}{X_{Оп18Оп285.7}} = 721.067$$

$$X_{1.65.7} := X_{1.61.7} + X_{Оп18Оп285.7} + \frac{X_{1.61.7} \cdot X_{Оп18Оп285.7}}{X_{АмурОп18.7}} = 1.253 \times 10^4$$

$$X_{1.эквV.7} := \frac{X_{1.62.7} \cdot X_{1.11.7}}{X_{1.62.7} + X_{1.11.7}} = 74.955 \quad X_{1.67.7} := \frac{X_{СОп285Б.т.7} \cdot X_{1.65.7}}{X_{СОп285Б.т.7} + X_{1.65.7}} = -7.281 \times 10^3$$

$$X_{1.66.7} := \frac{X_{1.1.7} \cdot X_{1.64.7}}{X_{1.1.7} + X_{1.64.7}} = 116.546 \quad X_{1.68.7} := \frac{X_{1.63.7} \cdot X_{1.67.7}}{X_{1.63.7} + X_{1.67.7}} = 204.34$$

$$X_{1.эквVI.7} := \frac{X_{1.66.7} \cdot X_{1.68.7}}{X_{1.66.7} + X_{1.68.7}} = 74.216$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная

$$K_{1.5.7} := \frac{X_{1.эквVI.7}}{X_{1.3.7} + X_{1.эквVI.7}} = 0.23 \quad K_{1.14.7} := \frac{X_{1.эквV.7}}{X_{1.10.7} + X_{1.эквV.7}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.5.7} := K_{1.5.7} \cdot I_{1.4.7} = 12.494 \text{ А} \quad I_{1.14.7} := K_{1.14.7} \cdot I_{1.13.7} = 7.234 \text{ А}$$

$$U_{1.5.7} := I_{1.5.7} \cdot X_{1.3.7} = 3.11 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.14.7} := I_{1.14.7} \cdot X_{1.10.7} = 3.376 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$K_{1.6.7} := \frac{X_{1.3.7}}{X_{1.3.7} + X_{1.эквVI.7}} = 0.77 \quad K_{1.15.7} := \frac{X_{1.10.7}}{X_{1.10.7} + X_{1.эквV.7}} = 0.862$$

Ток, протекающий на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$I_{1.6.7} := K_{1.6.7} \cdot I_{1.4.7} = 41.905 \text{ А} \quad I_{1.15.7} := K_{1.15.7} \cdot I_{1.13.7} = 45.037 \text{ А}$$

$$U_{1.6.7} := I_{1.6.7} \cdot X_{1.эквVI.7} = 3.11 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.15.7} := I_{1.15.7} \cdot X_{1.эквV.7} = 3.376 \times 10^3 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$X_{1.69.7} := \frac{X_{САмурОп18.7} \cdot X_{АмурОп18.7}}{X_{САмурОп18.7} + X_{АмурОп18.7}} = 10.717$$

$$X_{1.эквVII.7} := \frac{X_{1.1.7} \cdot X_{1.69.7}}{X_{1.1.7} + X_{1.69.7}} = 9.95$$

$$X_{1.70.7} := X_{Б_тХв.7} + X_{1.7.7} + \frac{X_{Б_тХв.7} \cdot X_{1.7.7}}{X_{1.9.7}} = 1.552 \times 10^3 \quad X_{1.73.7} := \frac{X_{СБ_тХв.7} \cdot X_{1.10.7}}{X_{СБ_тХв.7} + X_{1.10.7}} = 471.484$$

$$X_{1.71.7} := X_{1.7.7} + X_{1.9.7} + \frac{X_{1.7.7} \cdot X_{1.9.7}}{X_{Б_тХв.7}} = 1.245 \times 10^4 \quad X_{1.74.7} := \frac{X_{1.8.7} \cdot X_{1.71.7}}{X_{1.8.7} + X_{1.71.7}} = 817.532$$

$$X_{1.72.7} := X_{Б_тХв.7} + X_{1.9.7} + \frac{X_{Б_тХв.7} \cdot X_{1.9.7}}{X_{1.7.7}} = 2.728 \times 10^3 \quad X_{1.75.7} := \frac{X_{1.72.7} \cdot X_{1.73.7}}{X_{1.72.7} + X_{1.73.7}} = 402.005$$

$$X_{1.76.7} := X_{Хв3ав.7} + X_{1.70.7} + \frac{X_{Хв3ав.7} \cdot X_{1.70.7}}{X_{1.75.7}} = 2.125 \times 10^3$$

$$X_{1.77.7} := X_{1.70.7} + X_{1.75.7} + \frac{X_{1.70.7} \cdot X_{1.75.7}}{X_{Хв3ав.7}} = 7.251 \times 10^3$$

$$X_{1.78.7} := X_{Хв3ав.7} + X_{1.75.7} + \frac{X_{Хв3ав.7} \cdot X_{1.75.7}}{X_{1.70.7}} = 550.325 \quad X_{1.80.7} := \frac{X_{1.78.7} \cdot X_{СХв3ав.7}}{X_{1.78.7} + X_{СХв3ав.7}} = 564.971$$

$$X_{1.79.7} := \frac{X_{1.74.7} \cdot X_{1.77.7}}{X_{1.74.7} + X_{1.77.7}} = 734.694$$

$$X_{1.81.7} := \frac{X_{1.76.7} \cdot X_{1.80.7}}{X_{1.76.7} + X_{1.80.7}} = 446.303$$

$$X_{1.эквVIII.7} := \frac{X_{1.81.7} \cdot X_{1.79.7}}{X_{1.81.7} + X_{1.79.7}} = 277.644$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС С вободный и ПС Завитая:

$$K_{1.7.7} := \frac{X_{1.эквVII.7}}{X_{1.2.7} + X_{1.эквVII.7}} = 0.02$$

$$K_{1.16.7} := \frac{X_{1.эквVIII.7}}{X_{1.11.7} + X_{1.эквVIII.7}} = 0.576$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.7.7} := K_{1.7.7} \cdot I_{1.6.7} = 0.821 \text{ А} \quad I_{1.16.7} := K_{1.16.7} \cdot I_{1.15.7} = 25.957 \text{ А}$$

$$U_{1.7.7} := I_{1.7.7} \cdot X_{1.2.5} = 293.71 \text{ В} \quad U_{1.16.7} := I_{1.16.7} \cdot X_{1.11.7} = 5.297 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Амур Оп 18:

$$K_{1.8.7} := \frac{X_{1.2.7}}{X_{1.2.7} + X_{1.эквVII.7}} = 0.98$$

Ток, протекающий на линиях Амур Оп 18:

$$I_{1.8.7} := K_{1.8.7} \cdot I_{1.6.7} = 41.084 \text{ А}$$

$$U_{1.8.7} := I_{1.8.7} \cdot X_{1.эквVII.7} = 408.781 \text{ В}$$

5 эквивалент

$$X_{1.82.7} := \frac{X_{CAмурОн18.7} \cdot X_{1.2.7}}{X_{CAмурОн18.7} + X_{1.2.7}} = 671.746$$

$$X_{1.83.7} := \frac{X_{COн18Он285.7} \cdot X_{1.3.7}}{X_{COн18Он285.7} + X_{1.3.7}} = 250.791$$

$$X_{1.84.7} := \frac{X_{COн285Б_т.7} \cdot X_{1.5.7}}{X_{COн285Б_т.7} + X_{1.5.7}} = 3.63 \times 10^3$$

$$X_{1.85.7} := X_{АмурОн18.7} + X_{Он18Он285.7} + \frac{X_{АмурОн18.7} \cdot X_{Он18Он285.7}}{X_{1.82.7}} = 198.762$$

$$X_{1.86.7} := X_{АмурОн18.7} + X_{1.82.7} + \frac{X_{АмурОн18.7} \cdot X_{1.82.7}}{X_{Он18Он285.7}} = 721.067$$

$$X_{1.87.7} := X_{Он18Он285.7} + X_{1.82.7} + \frac{X_{Он18Он285.7} \cdot X_{1.82.7}}{X_{АмурОн18.7}} = 1.253 \times 10^4$$

$$X_{1.88.7} := X_{Он285Б_т.7} + X_{1.4.7} + \frac{X_{Он285Б_т.7} \cdot X_{1.4.7}}{X_{1.84.7}} = 1.189 \times 10^3$$

$$X_{1.89.7} := X_{Он285Б_т.7} + X_{1.84.7} + \frac{X_{Он285Б_т.7} \cdot X_{1.84.7}}{X_{1.4.7}} = 3.736 \times 10^3$$

$$X_{1.90.7} := X_{1.4.7} + X_{1.84.7} + \frac{X_{1.4.7} \cdot X_{1.84.7}}{X_{Он285Б_т.7}} = 1.689 \times 10^5$$

$$X_{1.91.7} := \frac{X_{1.87.7} \cdot X_{1.83.7} \cdot X_{1.89.7}}{X_{1.87.7} \cdot X_{1.83.7} + X_{1.87.7} \cdot X_{1.89.7} + X_{1.83.7} \cdot X_{1.89.7}} = 230.688$$

$$X_{1.92.7} := \frac{X_{1.90.7} \cdot X_{1.6.7}}{X_{1.90.7} + X_{1.6.7}} = 870.489$$

$$X_{1.93.7} := X_{1.85.7} + X_{1.88.7} + \frac{X_{1.85.7} \cdot X_{1.88.7}}{X_{1.91.7}} = 2.412 \times 10^3$$

$$X_{1.94.7} := X_{1.85.7} + X_{1.91.7} + \frac{X_{1.85.7} \cdot X_{1.91.7}}{X_{1.88.7}} = 468.023 \quad X_{1.96.7} := \frac{X_{1.86.7} \cdot X_{1.94.7}}{X_{1.86.7} + X_{1.94.7}} = 283.81$$

$$X_{1.95.7} := X_{1.88.7} + X_{1.91.7} + \frac{X_{1.88.7} \cdot X_{1.91.7}}{X_{1.85.7}} = 2.799 \times 10^3 \quad X_{1.97.7} := \frac{X_{1.95.7} \cdot X_{1.92.7}}{X_{1.95.7} + X_{1.92.7}} = 663.988$$

$$X_{1.98.7} := \frac{X_{1.93.7} \cdot X_{1.97.7}}{X_{1.93.7} + X_{1.97.7}} = 520.641 \quad X_{1.эквIX.7} := \frac{X_{1.98.7} \cdot X_{1.96.7}}{X_{1.98.7} + X_{1.96.7}} = 183.682$$

Коэф. для тока протекающего на ПС Амурская:

$$K_{1.9.7} := \frac{X_{1.эквIX.7}}{X_{1.1.7} + X_{1.эквIX.7}} = 0.569$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{1.0.7} := K_{1.0.7} \cdot I_{1.8.7} = 23.385 \text{ А}$$

$$U_{1.9.7} := I_{1.9.7} \cdot X_{1.1.7} = 3.251 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование 2 линии ПС Амурская-ПС Завитая

Преобразование электрической схемы на 1 гармонике:

$$\begin{aligned}
 X_{2.1} &:= \frac{X_{B1} \cdot X_{H1}}{X_{B1} + X_{H1}} = 19.859 & X_{2.3} &:= X_{B4} + X_{C4} + \frac{X_{B4} \cdot X_{C4}}{X_{H3}} = 165 \\
 X_{2.2} &:= \frac{X_{B6} \cdot X_{H6}}{X_{B6} + X_{H6}} = 33.949 & X_{2.4} &:= X_{B4} + X_{H4} = 290 \\
 X_{2.9} &:= \frac{X_{B7} \cdot X_{H7}}{X_{B7} + X_{H7}} = 66.667 & X_{2.5} &:= X_{H4} + X_{C4} + \frac{X_{H4} \cdot X_{C4}}{X_{R4}} = 125 \\
 X_{2.10} &:= \frac{X_{B8} \cdot X_{H8}}{X_{B8} + X_{H8}} = 29.155 & X_{2.6} &:= X_{B4} + X_{C4} + \frac{X_{B4} \cdot X_{C4}}{X_{H4}} = 165 \\
 X_{2.7} &:= X_{H4} + X_{C4} + \frac{X_{H4} \cdot X_{C4}}{X_{B4}} = 125 & X_{2.8} &:= X_{B4} + X_{H4} = 290
 \end{aligned}$$

1 эквивалент

$$\begin{aligned}
 X_{2.11} &:= \frac{X_{CAмурОн276} \cdot X_{2.2}}{X_{CAмурОн276} + X_{2.2}} = 33.954 & X_{2.15} &:= X_{Он276Кор} + X_{2.3} + \frac{X_{Он276Кор} \cdot X_{2.3}}{X_{2.12}} = 211.323 \\
 X_{2.12} &:= \frac{X_{CОн276Кор} \cdot X_{2.4}}{X_{CОн276Кор} + X_{2.4}} = 290.323 & X_{2.16} &:= X_{Он276Кор} + X_{2.12} + \frac{X_{Он276Кор} \cdot X_{2.12}}{X_{2.3}} = 371.83 \\
 X_{2.13} &:= \frac{X_{CKорОн190} \cdot X_{2.9}}{X_{CKорОн190} + X_{2.9}} = 66.76 & X_{2.17} &:= X_{2.3} + X_{2.12} + \frac{X_{2.3} \cdot X_{2.12}}{X_{Он276Кор}} = 2.077 \times 10^3 \\
 X_{2.14} &:= \frac{X_{CОн1903ав} \cdot X_{2.10}}{X_{CОн1903ав} + X_{2.10}} = 29.16 & X_{2.18} &:= X_{КорОн190} + X_{2.6} + \frac{X_{КорОн190} \cdot X_{2.6}}{X_{2.8}} = 173.481 \\
 X_{2.19} &:= X_{2.6} + X_{2.8} + \frac{X_{2.6} \cdot X_{2.8}}{X_{КорОн190}} = 9.307 \times 10^3 & X_{2.21} &:= \frac{X_{2.11} \cdot X_{2.16}}{X_{2.11} + X_{2.16}} = 31.113 \\
 X_{2.20} &:= X_{КорОн190} + X_{2.8} + \frac{X_{КорОн190} \cdot X_{2.8}}{X_{2.6}} = 304.906 & X_{2.22} &:= \frac{X_{2.20} \cdot X_{2.13}}{X_{2.20} + X_{2.13}} = 54.768 \\
 X_{2.23} &:= X_{АмурОн276} + X_{2.15} + \frac{X_{АмурОн276} \cdot X_{2.15}}{X_{2.21}} = 441.98 & X_{2.25} &:= X_{2.15} + X_{2.21} + \frac{X_{2.15} \cdot X_{2.21}}{X_{АмурОн276}} = 464.551 \\
 X_{2.24} &:= X_{АмурОн276} + X_{2.21} + \frac{X_{АмурОн276} \cdot X_{2.21}}{X_{2.15}} = 65.072 & X_{2.26} &:= X_{2.18} + X_{Он1903ав} + \frac{X_{2.18} \cdot X_{Он1903ав}}{X_{2.22}} = 243.297 \\
 X_{2.27} &:= X_{2.18} + X_{2.22} + \frac{X_{2.18} \cdot X_{2.22}}{X_{Он1903ав}} = 795.405 & X_{2.28} &:= X_{Он1903ав} + X_{2.22} + \frac{X_{Он1903ав} \cdot X_{2.22}}{X_{2.18}} = 74.525 \\
 X_{2.29} &:= \frac{X_{2.1} \cdot X_{2.24}}{X_{2.1} + X_{2.24}} = 15.216 & X_{2.31} &:= \frac{X_{2.27} \cdot X_{2.19}}{X_{2.27} + X_{2.19}} = 732.781 \\
 X_{2.30} &:= \frac{X_{2.25} \cdot X_{2.17}}{X_{2.25} + X_{2.17}} = 379.644 & X_{2.32} &:= \frac{X_{2.28} \cdot X_{2.14}}{X_{2.28} + X_{2.14}} = 20.959 \\
 X_{2.33} &:= \frac{X_{2.23} \cdot X_{2.29}}{X_{2.23} + X_{2.29}} = 14.709 & X_{2.33I} &:= \frac{X_{2.33} \cdot X_{2.30}}{X_{2.33} + X_{2.30}} = 14.161 \\
 X_{2.34} &:= \frac{X_{2.26} \cdot X_{2.32}}{X_{2.26} + X_{2.32}} = 19.297 & X_{2.33II} &:= \frac{X_{2.31} \cdot X_{2.34}}{X_{2.31} + X_{2.34}} = 18.802 \\
 & & & 0.85 \sqrt{(21.2)^2 + (6.8)^2} \cdot 10^3
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{нагрКор}_T} := \frac{S_{\text{нагрКор}_T}}{2} = 9.462 \times 10^6 \text{ кВт}$$

$$I_2 := \frac{S_{\text{нагрКор}_T}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 24.831 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на X5 и X7:

$$K_{2.1} := \frac{X_{2.эквI}}{X_{2.5} + X_{2.эквI}} = 0.102 \quad K_{2.8} := \frac{X_{2.эквII}}{X_{2.7} + X_{2.эквII}} = 0.131$$

Ток, протекающий на X5 и X7:

$$I_{2.1} := K_{2.1} \cdot I_2 = 2.527 \text{ А} \quad I_{2.8} := K_{2.8} \cdot I_2 = 3.247 \text{ А}$$

$$U_{2.1} := I_{2.1} \cdot X_{2.5} = 315.85 \text{ В} \quad U_{2.8} := I_{2.8} \cdot X_{2.7} = 405.839 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на X3 и X6:

$$K_{2.2} := \frac{X_{2.5}}{X_{2.5} + X_{2.эквI}} = 0.898 \quad K_{2.9} := \frac{X_{2.7}}{X_{2.7} + X_{2.эквII}} = 0.869$$

Ток, протекающий на X3 и X6:

$$I_{2.2} := K_{2.2} \cdot I_2 = 22.305 \text{ А} \quad I_{2.9} := K_{2.9} \cdot I_2 = 21.585 \text{ А}$$

$$U_{2.2} := I_{2.2} \cdot X_{2.эквI} = 315.85 \text{ В} \quad U_{2.9} := I_{2.9} \cdot X_{2.эквII} = 405.839 \text{ В}$$

2 эквивалент

$$X_{2.35} := \frac{X_{САмурОп276} \cdot X_{2.2}}{X_{САмурОп276} + X_{2.2}} = 33.954 \quad X_{2.39} := X_{АмурОп276} + X_{Оп276Кор} + \frac{X_{АмурОп276} \cdot X_{Оп276Кор}}{X_{2.35}} = 84.888$$

$$X_{2.36} := \frac{X_{СКорОп190} \cdot X_{2.9}}{X_{СКорОп190} + X_{2.9}} = 66.76 \quad X_{2.40} := X_{АмурОп276} + X_{2.35} + \frac{X_{АмурОп276} \cdot X_{2.35}}{X_{Оп276Кор}} = 97.582$$

$$X_{2.38} := \frac{X_{СОп1903ав} \cdot X_{2.10}}{X_{СОп1903ав} + X_{2.10}} = 29.16 \quad X_{2.41} := X_{2.35} + X_{Оп276Кор} + \frac{X_{2.35} \cdot X_{Оп276Кор}}{X_{АмурОп276}} = 97.37$$

$$X_{2.42} := X_{КорОп190} + X_{Оп1903ав} + \frac{X_{КорОп190} \cdot X_{Оп1903ав}}{X_{2.36}} = 23.514$$

$$X_{2.43} := X_{КорОп190} + X_{2.36} + \frac{X_{КорОп190} \cdot X_{2.36}}{X_{Оп1903ав}} = 93.706 \quad X_{2.45} := \frac{X_{СКорОп190} \cdot X_{2.41}}{X_{СКорОп190} + X_{2.41}} = 97.569$$

$$X_{2.44} := X_{Оп1903ав} + X_{2.36} + \frac{X_{Оп1903ав} \cdot X_{2.36}}{X_{КорОп190}} = 290.415 \quad X_{2.46} := \frac{X_{2.44} \cdot X_{2.38}}{X_{2.44} + X_{2.38}} = 26.5$$

$$X_{2.47} := \frac{X_{2.1} \cdot X_{2.39}}{X_{2.1} + X_{2.39}} = 16.094 \quad X_{2.48} := \frac{X_{2.42} \cdot X_{2.46}}{X_{2.42} + X_{2.46}} = 12.459$$

$$X_{2.эквIII} := \frac{X_{2.47} \cdot X_{2.45}}{X_{2.47} + X_{2.45}} = 13.815 \quad X_{2.эквIV} := \frac{X_{2.43} \cdot X_{2.48}}{X_{2.43} + X_{2.48}} = 10.997$$

Коэф. для тока, протекающего на X4 и X8:

$$K_{2.3} := \frac{X_{2.эквIII}}{X_{2.4} + X_{2.эквIII}} = 0.045 \quad K_{2.10} := \frac{X_{2.эквIV}}{X_{2.8} + X_{2.эквIV}} = 0.037$$

Ток, протекающий на X4 и X8:

$$I_{2.3} := K_{2.3} \cdot I_2 = 1.014 \text{ А} \quad I_{2.10} := K_{2.10} \cdot I_2 = 0.789 \text{ А}$$

$$U_{2.3} := I_{2.3} \cdot X_{2.4} = 294.136 \text{ В} \quad U_{2.10} := I_{2.10} \cdot X_{2.8} = 228.694 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$K_{2.4} := \frac{X_{2.4}}{X_{2.4} + X_{2.эквIII}} = 0.955 \quad K_{2.11} := \frac{X_{2.8}}{X_{2.8} + X_{2.эквIV}} = 0.963$$

Ток, протекающий на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$I_{2.4} := K_{2.4} \cdot I_{2.2} = 21.291 \text{ A} \quad I_{2.11} := K_{2.11} \cdot I_{2.9} = 20.796 \text{ A}$$

$$U_{2.4} := I_{2.4} \cdot X_{2.эквIII} = 294.136 \text{ В} \quad U_{2.11} := I_{2.11} \cdot X_{2.эквIV} = 228.694 \text{ В}$$

3 эквивалент

$$X_{2.49} := \frac{X_{\text{АмурОп276}} \cdot X_{2.1}}{X_{\text{АмурОп276}} + X_{2.1}} = 11.885 \quad X_{2.эквV} := \frac{X_{\text{САмурОп276}} \cdot X_{2.49}}{X_{\text{САмурОп276}} + X_{2.49}} = 11.886$$

$$X_{2.50} := \frac{X_{\text{СОп190Зав}} \cdot X_{2.10}}{X_{\text{СОп190Зав}} + X_{2.10}} = 29.16 \quad X_{2.эквVI} := \frac{X_{\text{Оп190Зав}} \cdot X_{2.50}}{X_{\text{Оп190Зав}} + X_{2.50}} = 10.64$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$K_{2.5} := \frac{X_{2.эквV}}{X_{2.2} + X_{2.эквV}} = 0.259 \quad K_{2.12} := \frac{X_{2.эквVI}}{X_{2.9} + X_{2.эквVI}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$I_{2.5} := K_{2.5} \cdot I_{2.4} = 5.521 \text{ A} \quad I_{2.12} := K_{2.12} \cdot I_{2.11} = 2.862 \text{ A}$$

$$U_{2.5} := I_{2.5} \cdot X_{2.2} = 187.436 \text{ В} \quad U_{2.12} := I_{2.12} \cdot X_{2.9} = 190.817 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$K_{2.6} := \frac{X_{2.2}}{X_{2.2} + X_{2.эквV}} = 0.741 \quad K_{2.13} := \frac{X_{2.9}}{X_{2.9} + X_{2.эквVI}} = 0.862$$

Ток, протекающий на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$I_{2.6} := K_{2.6} \cdot I_{2.4} = 15.77 \text{ A} \quad I_{2.13} := K_{2.13} \cdot I_{2.11} = 17.934 \text{ A}$$

$$U_{2.6} := I_{2.6} \cdot X_{2.эквV} = 187.436 \text{ В} \quad U_{2.13} := I_{2.13} \cdot X_{2.эквVI} = 190.817 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$\begin{aligned}
 X_{2.51} &:= \frac{X_{CAмурOn276} \cdot X_{2.2}}{X_{CAмурOn276} + X_{2.2}} = 33.954 \\
 X_{2.52} &:= \frac{X_{COn276Kop} \cdot X_{2.4}}{X_{COn276Kop} + X_{2.4}} = 290.323 & X_{2.53} &:= \frac{X_{CKopOn190} \cdot X_{2.9}}{X_{CKopOn190} + X_{2.9}} = 66.76 \\
 X_{2.54} &:= X_{On276Kop} + X_{2.3} + \frac{X_{On276Kop} \cdot X_{2.3}}{X_{2.52}} = 211.323 \\
 X_{2.55} &:= X_{On276Kop} + X_{2.52} + \frac{X_{On276Kop} \cdot X_{2.52}}{X_{2.3}} = 371.83 \\
 X_{2.56} &:= X_{2.3} + X_{2.52} + \frac{X_{2.3} \cdot X_{2.52}}{X_{On276Kop}} = 2.077 \times 10^3 & X_{2.59} &:= \frac{X_{2.51} \cdot X_{2.55}}{X_{2.51} + X_{2.55}} = 31.113 \\
 X_{2.37} &:= X_{2.6} + X_{KopOn190} + \frac{X_{2.6} \cdot X_{KopOn190}}{X_{2.8}} = 173.481 & X_{2.60} &:= \frac{X_{2.56} \cdot X_{2.5}}{X_{2.56} + X_{2.5}} = 117.905 \\
 X_{2.57} &:= X_{2.6} + X_{2.8} + \frac{X_{2.6} \cdot X_{2.8}}{X_{KopOn190}} = 9.307 \times 10^3 & X_{2.61} &:= \frac{X_{2.7} \cdot X_{2.57}}{X_{2.7} + X_{2.57}} = 123.343 \\
 X_{2.58} &:= X_{KopOn190} + X_{2.8} + \frac{X_{KopOn190} \cdot X_{2.8}}{X_{2.6}} = 304.906 & X_{2.62} &:= \frac{X_{2.58} \cdot X_{2.9}}{X_{2.58} + X_{2.9}} = 54.705 \\
 X_{2.63} &:= X_{AмурOn276} + X_{2.54} + \frac{X_{AмурOn276} \cdot X_{2.54}}{X_{2.59}} = 441.98 & X_{2.65} &:= X_{2.54} + X_{2.59} + \frac{X_{2.54} \cdot X_{2.59}}{X_{AмурOn276}} = 464.551 \\
 X_{2.64} &:= X_{AмурOn276} + X_{2.59} + \frac{X_{AмурOn276} \cdot X_{2.59}}{X_{2.54}} = 65.072 \\
 X_{2.66} &:= X_{2.56} + X_{On1903ав} + \frac{X_{2.56} \cdot X_{On1903ав}}{X_{2.61}} = 2.73 \times 10^3 \\
 X_{2.67} &:= X_{2.56} + X_{2.62} + \frac{X_{2.56} \cdot X_{2.62}}{X_{On1903ав}} = 8.915 \times 10^3 & X_{2.70} &:= \frac{X_{2.61} \cdot X_{2.67}}{X_{2.61} + X_{2.67}} = 121.66 \\
 X_{2.68} &:= X_{2.62} + X_{On1903ав} + \frac{X_{2.62} \cdot X_{On1903ав}}{X_{2.56}} = 71.899 & X_{2.71} &:= \frac{X_{2.68} \cdot X_{COn1903ав}}{X_{2.68} + X_{COn1903ав}} = 71.934 \\
 X_{2.69} &:= \frac{X_{2.65} \cdot X_{2.60}}{X_{2.65} + X_{2.60}} = 94.038 \\
 X_{2.72} &:= \frac{X_{2.63} \cdot X_{2.69}}{X_{2.63} + X_{2.69}} = 77.54 & X_{2.73} &:= \frac{X_{2.66} \cdot X_{2.70}}{X_{2.66} + X_{2.70}} = 116.47 \\
 X_{2.эквVII} &:= \frac{X_{2.64} \cdot X_{2.72}}{X_{2.64} + X_{2.72}} = 35.38 & X_{2.эквVIII} &:= \frac{X_{2.73} \cdot X_{2.71}}{X_{2.73} + X_{2.71}} = 44.469
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$K_{2.7} := \frac{X_{2.эквVII}}{X_{2.1} + X_{2.эквVII}} = 0.64 \qquad K_{2.14} := \frac{X_{2.эквVIII}}{X_{2.10} + X_{2.эквVIII}} = 0.604$$

Ток, протекающий на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$I_{2.7} := K_{2.7} \cdot I_{2.6} = 10.1 \text{ A} \qquad I_{2.14} := K_{2.14} \cdot I_{2.13} = 10.832 \text{ A}$$

$$U_{2.7} := I_{2.7} \cdot X_{2.1} = 200.583 \text{ В} \qquad U_{2.14} := I_{2.14} \cdot X_{2.10} = 315.812 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 3 гармонике:

$$\begin{aligned}
 X_{\text{АмурОн276.3}} &:= n \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 69 = 88.803 & X_{2.2.3} &:= \frac{n \cdot X_{B6} \cdot n \cdot X_{H6}}{n \cdot X_{R6} + n \cdot X_{H6}} = 101.848 \\
 X_{\text{Он276Кор.3}} &:= n \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 68.85 = 88.61 & X_{2.9.3} &:= \frac{n \cdot X_{B7} \cdot n \cdot X_{H7}}{n \cdot X_{B7} + n \cdot X_{H7}} = 200 \\
 X_{\text{КорОн190.3}} &:= n \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 12.6 = 16.216 & X_{2.10.3} &:= \frac{n \cdot X_{B8} \cdot n \cdot X_{H8}}{n \cdot X_{B8} + n \cdot X_{H8}} = 87.464 \\
 X_{\text{Он1903ав.3}} &:= n \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 39.05 = 50.257 & X_{2.3.3} &:= n \cdot X_{B4} + n \cdot X_{C4} + \frac{n \cdot X_{B4} \cdot n \cdot X_{C4}}{n \cdot X_{H3}} = 495 \\
 X_{\text{САмурОн276.3}} &:= \frac{-69}{n \cdot b_{\text{уд300}}} = -8.712 \times 10^4 & X_{2.4.3} &:= n \cdot X_{B4} + n \cdot X_{H4} = 870 \\
 X_{\text{СОн276Кор.3}} &:= \frac{-68.85}{n \cdot b_{\text{уд300}}} = -8.693 \times 10^4 & X_{2.5.3} &:= n \cdot X_{H4} + n \cdot X_{C4} + \frac{n \cdot X_{H4} \cdot n \cdot X_{C4}}{n \cdot X_{B4}} = 375 \\
 X_{\text{СКорОн190.3}} &:= \frac{-12.6}{n \cdot b_{\text{уд300}}} = -1.591 \times 10^4 & X_{2.6.3} &:= n \cdot X_{B4} + n \cdot X_{C4} + \frac{n \cdot X_{B4} \cdot n \cdot X_{C4}}{n \cdot X_{H4}} = 495 \\
 X_{\text{СОн1903ав.3}} &:= \frac{-39.05}{n \cdot b_{\text{уд300}}} = -4.931 \times 10^4 & X_{2.7.3} &:= n \cdot X_{H4} + n \cdot X_{C4} + \frac{n \cdot X_{H4} \cdot n \cdot X_{C4}}{n \cdot X_{B4}} = 375 \\
 X_{2.1.3} &:= \frac{n \cdot X_{B1} \cdot n \cdot X_{H1}}{n \cdot X_{B1} + n \cdot X_{H1}} = 59.578 & X_{2.8.3} &:= n \cdot X_{B4} + n \cdot X_{H4} = 870 \\
 \text{I эквивалент} && X_{2.13.3} &:= \frac{X_{\text{КорОн190.3}} \cdot X_{2.9.3}}{X_{\text{КорОн190.3}} + X_{2.9.3}} = 202.546 \\
 X_{2.11.3} &:= \frac{X_{\text{САмурОн276.3}} \cdot X_{2.2.3}}{X_{\text{САмурОн276.3}} + X_{2.2.3}} = 101.967 & X_{2.14.3} &:= \frac{X_{\text{СОн1903ав.3}} \cdot X_{2.10.3}}{X_{\text{СОн1903ав.3}} + X_{2.10.3}} = 87.62 \\
 X_{2.12.3} &:= \frac{X_{\text{СОн276Кор.3}} \cdot X_{2.4.3}}{X_{\text{СОн276Кор.3}} + X_{2.4.3}} = 878.795 \\
 X_{2.15.3} &:= X_{\text{Он276Кор.3}} + X_{2.3.3} + \frac{X_{\text{Он276Кор.3}} \cdot X_{2.3.3}}{X_{2.12.3}} = 633.521 \\
 X_{2.16.3} &:= X_{\text{Он276Кор.3}} + X_{2.12.3} + \frac{X_{\text{Он276Кор.3}} \cdot X_{2.12.3}}{X_{2.3.3}} = 1.125 \times 10^3 \\
 X_{2.17.3} &:= X_{2.3.3} + X_{2.12.3} + \frac{X_{2.3.3} \cdot X_{2.12.3}}{X_{\text{Он276Кор.3}}} = 6.283 \times 10^3 \\
 X_{2.18.3} &:= X_{\text{КорОн190.3}} + X_{2.6.3} + \frac{X_{\text{КорОн190.3}} \cdot X_{2.6.3}}{X_{2.8.3}} = 520.443 \\
 X_{2.19.3} &:= X_{2.6.3} + X_{2.8.3} + \frac{X_{2.6.3} \cdot X_{2.8.3}}{X_{\text{КорОн190.3}}} = 2.792 \times 10^4 & X_{2.21.3} &:= \frac{X_{2.11.3} \cdot X_{2.16.3}}{X_{2.11.3} + X_{2.16.3}} = 93.491 \\
 X_{2.20.3} &:= X_{\text{КорОн190.3}} + X_{2.8.3} + \frac{X_{\text{КорОн190.3}} \cdot X_{2.8.3}}{X_{2.6.3}} = 914.717 & X_{2.22.3} &:= \frac{X_{2.20.3} \cdot X_{2.13.3}}{X_{2.20.3} + X_{2.13.3}} = 165.827 \\
 X_{2.23.3} &:= X_{\text{АмурОн276.3}} + X_{2.15.3} + \frac{X_{\text{АмурОн276.3}} \cdot X_{2.15.3}}{X_{2.21.3}} = 1.324 \times 10^3 \\
 X_{2.24.3} &:= X_{\text{АмурОн276.3}} + X_{2.21.3} + \frac{X_{\text{АмурОн276.3}} \cdot X_{2.21.3}}{X_{2.15.3}} = 195.399 \\
 X_{2.25.3} &:= X_{2.15.3} + X_{2.21.3} + \frac{X_{2.15.3} \cdot X_{2.21.3}}{X_{\text{АмурОн276.3}}} = 1.394 \times 10^3 \\
 X_{2.26.3} &:= X_{2.18.3} + X_{\text{Он1903ав.3}} + \frac{X_{2.18.3} \cdot X_{\text{Он1903ав.3}}}{X_{2.22.3}} = 728.431 \\
 X_{2.27.3} &:= X_{2.18.3} + X_{2.22.3} + \frac{X_{2.18.3} \cdot X_{2.22.3}}{X_{\text{Он1903ав.3}}} = 2.404 \times 10^3 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots
 \end{aligned}$$

$$X_{2.28.3} := X_{\text{Оп190Зав.3}} + X_{2.22.3} + \frac{\quad}{X_{2.18.3}} = 445.115$$

$$X_{2.29.3} := \frac{X_{2.13} \cdot X_{2.24.3}}{X_{2.13} + X_{2.24.3}} = 45.657$$

$$X_{2.32.3} := \frac{X_{2.28.3} \cdot X_{2.14.3}}{X_{2.28.3} + X_{2.14.3}} = 63.071$$

$$X_{2.30.3} := \frac{X_{2.25.3} \cdot X_{2.17.3}}{X_{2.25.3} + X_{2.17.3}} = 1.141 \times 10^3$$

$$X_{2.33.3} := \frac{X_{2.23.3} \cdot X_{2.29.3}}{X_{2.23.3} + X_{2.29.3}} = 44.135$$

$$X_{2.31.3} := \frac{X_{2.27.3} \cdot X_{2.19.3}}{X_{2.27.3} + X_{2.19.3}} = 2.213 \times 10^3$$

$$X_{2.34.3} := \frac{X_{2.26.3} \cdot X_{2.32.3}}{X_{2.26.3} + X_{2.32.3}} = 58.045$$

$$X_{2.эвк1.3} := \frac{X_{2.33.3} \cdot X_{2.30.3}}{X_{2.33.3} + X_{2.30.3}} = 42.491$$

$$X_{2.эвкП.3} := \frac{X_{2.31.3} \cdot X_{2.34.3}}{X_{2.31.3} + X_{2.34.3}} = 56.561$$

$$S_{\text{нагрКор.т}} := \frac{0.85 \sqrt{(21.2)^2 + (6.8)^2} \cdot 10^3}{2} = 9.462 \times 10^6 \text{ кВт}$$

$$I_{2.3} := \frac{S_{\text{нагрКор.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = 24.831 \text{ А}$$

Коэф для тока протекающего на X5 и X7:

$$K_{2.13} := \frac{X_{2.эвк1.3}}{X_{2.5.3} + X_{2.эвк1.3}} = 0.102$$

$$K_{2.8.3} := \frac{X_{2.эвкП.3}}{X_{2.7.3} + X_{2.эвкП.3}} = 0.131$$

Ток, протекающий на X5 и X7:

$$I_{2.13} := K_{2.13} \cdot I_{2.3} = 2.527 \text{ А} \quad I_{2.8.3} := K_{2.8.3} \cdot I_{2.3} = 3.255 \text{ А}$$

$$U_{2.13} := I_{2.13} \cdot X_{2.5.3} = 947.74 \text{ В} \quad U_{2.8.3} := I_{2.8.3} \cdot X_{2.7.3} = 1.22 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф для тока протекающего на X3 и X6:

$$K_{2.23} := \frac{X_{2.5.3}}{X_{2.5.3} + X_{2.эвк1.3}} = 0.898$$

$$K_{2.9.3} := \frac{X_{2.7.3}}{X_{2.7.3} + X_{2.эвкП.3}} = 0.869$$

Ток, протекающий на X3 и X6:

$$I_{2.23} := K_{2.23} \cdot I_{2.3} = 22.304 \text{ А} \quad I_{2.9.3} := K_{2.9.3} \cdot I_{2.3} = 21.577 \text{ А}$$

$$U_{2.23} := I_{2.23} \cdot X_{2.эвк1.3} = 947.74 \text{ В} \quad U_{2.9.3} := I_{2.9.3} \cdot X_{2.эвкП.3} = 1.22 \times 10^3 \text{ В}$$

2 эквивалент

$$X_{2.35.3} := \frac{X_{\text{САмурОп276.3}} \cdot X_{2.23}}{X_{\text{САмурОп276.3}} + X_{2.23}} = 101.967$$

$$X_{2.36.3} := \frac{X_{\text{СКорОп190.3}} \cdot X_{2.9.3}}{X_{\text{СКорОп190.3}} + X_{2.9.3}} = 202.546$$

$$X_{2.38.3} := \frac{X_{\text{СОп190Зав.3}} \cdot X_{2.10.3}}{X_{\text{СОп190Зав.3}} + X_{2.10.3}} = 87.62$$

$$X_{2.39.3} := X_{\text{АмурОп276.3}} + X_{\text{Оп276Кор.3}} + \frac{X_{\text{АмурОп276.3}} \cdot X_{\text{Оп276Кор.3}}}{X_{2.35.3}} = 254.583$$

$$X_{2.40.3} := X_{\text{АмурОп276.3}} + X_{2.35.3} + \frac{X_{\text{АмурОп276.3}} \cdot X_{2.35.3}}{X_{\text{Оп276Кор.3}}} = 292.959$$

$$X_{2,41.3} := X_{2,35.3} + X_{\text{Оп}276\text{Кор}3} + \frac{X_{2,35.3} \cdot X_{\text{Оп}276\text{Кор}3}}{X_{\text{АмурОп}276.3}} = 292.322$$

$$X_{2,42.3} := X_{\text{КорОп}190.3} + X_{\text{Оп}1903\text{ав}3} + \frac{X_{\text{КорОп}190.3} \cdot X_{\text{Оп}1903\text{ав}3}}{X_{2,36.3}} = 70.497$$

$$X_{2,43.3} := X_{\text{КорОп}190.3} + X_{2,36.3} + \frac{X_{\text{КорОп}190.3} \cdot X_{2,36.3}}{X_{\text{Оп}1903\text{ав}3}} = 284.117$$

$$X_{2,44.3} := X_{\text{Оп}1903\text{ав}3} + X_{2,36.3} + \frac{X_{\text{Оп}1903\text{ав}3} \cdot X_{2,36.3}}{X_{\text{КорОп}190.3}} = 880.536$$

$$X_{2,45.3} := \frac{X_{\text{СКорОп}190.3} \cdot X_{2,41.3}}{X_{\text{СКорОп}190.3} + X_{2,41.3}} = 297.794 \quad X_{2,47.3} := \frac{X_{2,13} \cdot X_{2,39.3}}{X_{2,13} + X_{2,39.3}} = 48.279$$

$$X_{2,46.3} := \frac{X_{2,44.3} \cdot X_{2,38.3}}{X_{2,44.3} + X_{2,38.3}} = 79.69 \quad X_{2,48.3} := \frac{X_{2,42.3} \cdot X_{2,46.3}}{X_{2,42.3} + X_{2,46.3}} = 37.406$$

$$X_{2,\text{эквIII}.3} := \frac{X_{2,47.3} \cdot X_{2,45.3}}{X_{2,47.3} + X_{2,45.3}} = 41.544 \quad X_{2,\text{эквIV}.3} := \frac{X_{2,43.3} \cdot X_{2,48.3}}{X_{2,43.3} + X_{2,48.3}} = 33.054$$

Коэф. для тока протекающего на X4 и X8:

$$K_{2,3.3} := \frac{X_{2,\text{эквIII}.3}}{X_{2,4.3} + X_{2,\text{эквIII}.3}} = 0.046 \quad K_{2,10.3} := \frac{X_{2,\text{эквIV}.3}}{X_{2,8.3} + X_{2,\text{эквIV}.3}} = 0.037$$

Ток, протекающий на X4 и X8:

$$I_{2,3.3} := K_{2,3.3} \cdot I_{2,2.3} = 1.017 \text{ А} \quad I_{2,10.3} := K_{2,10.3} \cdot I_{2,9.3} = 0.79 \text{ А}$$

$$U_{2,3.3} := I_{2,3.3} \cdot X_{2,4.3} = 884.385 \text{ В} \quad U_{2,10.3} := I_{2,10.3} \cdot X_{2,8.3} = 687.113 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$K_{2,4.3} := \frac{X_{2,4.3}}{X_{2,4.3} + X_{2,\text{эквIII}.3}} = 0.954 \quad K_{2,11.3} := \frac{X_{2,8.3}}{X_{2,8.3} + X_{2,\text{эквIV}.3}} = 0.963$$

Ток, протекающий на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$I_{2,4.3} := K_{2,4.3} \cdot I_{2,2.3} = 21.288 \text{ А} \quad I_{2,11.3} := K_{2,11.3} \cdot I_{2,9.3} = 20.787 \text{ А}$$

$$U_{2,4.3} := I_{2,4.3} \cdot X_{2,\text{эквIII}.3} = 884.385 \text{ В} \quad U_{2,11.3} := I_{2,11.3} \cdot X_{2,\text{эквIV}.3} = 687.113 \text{ В}$$

Завязывающий

$$X_{2,49.3} := \frac{X_{\text{АмурОп}276.3} \cdot X_{2,13}}{X_{\text{АмурОп}276.3} + X_{2,13}} = 35.656 \quad X_{2,\text{эквV}.3} := \frac{X_{\text{САмурОп}276.3} \cdot X_{2,49.3}}{X_{\text{САмурОп}276.3} + X_{2,49.3}} = 35.671$$

$$X_{2,50.3} := \frac{X_{\text{СОп}1903\text{ав}3} \cdot X_{2,10.3}}{X_{\text{СОп}1903\text{ав}3} + X_{2,10.3}} = 87.62 \quad X_{2,\text{эквVI}.3} := \frac{X_{\text{Оп}1903\text{ав}3} \cdot X_{2,50.3}}{X_{\text{Оп}1903\text{ав}3} + X_{2,50.3}} = 31.938$$

Коэф. для тока протекающего на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$K_{2,5.3} := \frac{X_{2,\text{эквV}.3}}{X_{2,2.3} + X_{2,\text{эквV}.3}} = 0.259 \quad K_{2,12.3} := \frac{X_{2,\text{эквVI}.3}}{X_{2,9.3} + X_{2,\text{эквVI}.3}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$I_{2,5.3} := K_{2,5.3} \cdot I_{2,4.3} = 5.522 \text{ А} \quad I_{2,12.3} := K_{2,12.3} \cdot I_{2,11.3} = 2.862 \text{ А}$$

$$U_{2,5.3} := I_{2,5.3} \cdot X_{2,2.3} = 562.386 \text{ В} \quad U_{2,12.3} := I_{2,12.3} \cdot X_{2,9.3} = 572.489 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$K_{2,6.3} := \frac{X_{2,2.3}}{X_{2,2.3} + X_{2,\text{эквV}.3}} = 0.741 \quad K_{2,13.3} := \frac{X_{2,9.3}}{X_{2,9.3} + X_{2,\text{эквVI}.3}} = 0.862$$

Ток, протекающий на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$I_{1.6.3} := K_{1.6.3} \cdot I_{1.4.3} = 15.766 \text{ A} \quad I_{1.13.3} := K_{1.13.3} \cdot I_{1.11.3} = 17.925 \text{ A}$$

$$U_{2.6.3} := I_{2.6.3} \cdot X_{2.333V.3} = 562.386 \text{ В} \quad U_{2.13.3} := I_{2.13.3} \cdot X_{2.333VI.3} = 572.489 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$X_{2.51.3} := \frac{X_{CAмгpOм276.3} \cdot X_{2.2.3}}{X_{CAмгpOм276.3} + X_{2.2.3}} = 101.967$$

$$X_{2.52.3} := \frac{X_{COм276Kop.3} \cdot X_{2.4.3}}{X_{COм276Kop.3} + X_{2.4.3}} = 878.795 \quad X_{2.53.3} := \frac{X_{CKopOм190.3} \cdot X_{2.9.3}}{X_{CKopOм190.3} + X_{2.9.3}} = 202.546$$

$$X_{2.54.3} := X_{Oм276Kop.3} + X_{2.3.3} + \frac{X_{Oм276Kop.3} \cdot X_{2.3.3}}{X_{2.52.3}} = 633.521$$

$$X_{2.55.3} := X_{Oм276Kop.3} + X_{2.52.3} + \frac{X_{Oм276Kop.3} \cdot X_{2.52.3}}{X_{2.3.3}} = 1.125 \times 10^3$$

$$X_{2.56.3} := X_{2.3.3} + X_{2.52.3} + \frac{X_{2.3.3} \cdot X_{2.52.3}}{X_{Oм276Kop.3}} = 6.283 \times 10^3$$

$$X_{2.37.3} := X_{2.6.3} + X_{KopOм190.3} + \frac{X_{2.6.3} \cdot X_{KopOм190.3}}{X_{2.8.3}} = 520.443$$

$$X_{2.57.3} := X_{2.6.3} + X_{2.8.3} + \frac{X_{2.6.3} \cdot X_{2.8.3}}{X_{KopOм190.3}} = 2.792 \times 10^4$$

$$X_{2.58.3} := X_{KopOм190.3} + X_{2.8.3} + \frac{X_{KopOм190.3} \cdot X_{2.8.3}}{X_{2.6.3}} = 914.717$$

$$X_{2.59.3} := \frac{X_{2.51.3} \cdot X_{2.55.3}}{X_{2.51.3} + X_{2.55.3}} = 93.491 \quad X_{2.61.3} := \frac{X_{2.7.3} \cdot X_{2.57.3}}{X_{2.7.3} + X_{2.57.3}} = 370.03$$

$$X_{2.60.3} := \frac{X_{2.56.3} \cdot X_{2.53.3}}{X_{2.56.3} + X_{2.53.3}} = 353.879 \quad X_{2.62.3} := \frac{X_{2.58.3} \cdot X_{2.9.3}}{X_{2.58.3} + X_{2.9.3}} = 164.116$$

$$X_{2.63.3} := X_{AMгpOм276.3} + X_{2.54.3} + \frac{X_{AMгpOм276.3} \cdot X_{2.54.3}}{X_{2.59.3}} = 1.324 \times 10^3$$

$$X_{2.64.3} := X_{AMгpOм276.3} + X_{2.59.3} + \frac{X_{AMгpOм276.3} \cdot X_{2.59.3}}{X_{2.54.3}} = 195.399$$

$$X_{2.65.3} := X_{2.54.3} + X_{2.59.3} + \frac{X_{2.54.3} \cdot X_{2.59.3}}{X_{AMгpOм276.3}} = 1.394 \times 10^3$$

$$X_{2.66.3} := X_{2.56.3} + X_{Oм1903ав.3} + \frac{X_{2.56.3} \cdot X_{Oм1903ав.3}}{X_{2.62.3}} = 8.257 \times 10^3$$

$$X_{2.67.3} := X_{2.56.3} + X_{2.62.3} + \frac{X_{2.56.3} \cdot X_{2.62.3}}{X_{Oм1903ав.3}} = 2.696 \times 10^4$$

$$X_{2.68.3} := X_{2.62.3} + X_{Oм1903ав.3} + \frac{X_{2.62.3} \cdot X_{Oм1903ав.3}}{X_{2.56.3}} = 215.687$$

$$X_{2.69.3} := \frac{X_{2.65.3} \cdot X_{2.60.3}}{X_{2.65.3} + X_{2.60.3}} = 282.231 \quad X_{2.72.3} := \frac{X_{2.63.3} \cdot X_{2.69.3}}{X_{2.63.3} + X_{2.69.3}} = 232.643$$

$$X_{2.70.3} := \frac{X_{2.61.3} \cdot X_{2.67.3}}{X_{2.61.3} + X_{2.67.3}} = 365.021 \quad X_{2.73.3} := \frac{X_{2.66.3} \cdot X_{2.70.3}}{X_{2.66.3} + X_{2.70.3}} = 349.568$$

$$X_{2.71.3} := \frac{X_{2.68.3} \cdot X_{Oм1903ав.3}}{X_{2.68.3} + X_{Oм1903ав.3}} = 216.634 \quad X_{2.333VIII.3} := \frac{X_{2.73.3} \cdot X_{2.71.3}}{X_{2.73.3} + X_{2.71.3}} = 133.748$$

$$X_{2.333VII.3} := \frac{X_{2.64.3} \cdot X_{2.72.3}}{X_{2.64.3} + X_{2.72.3}} = 106.2$$

Коэф. для тока протекающего на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$K_{2,7,3} := \frac{X_{2,3кВVII,3}}{X_{2,1,3} + X_{2,3кВVII,3}} = 0.641 \quad K_{2,14,3} := \frac{X_{2,3кВVIII,3}}{X_{2,10,3} + X_{2,3кВVIII,3}} = 0.605$$

Ток, протекающий на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$I_{2,7,3} := K_{2,7,3} \cdot I_{2,6,3} = 10.1 \text{ А} \quad I_{2,14,3} := K_{2,14,3} \cdot I_{2,13,3} = 10.838 \text{ А}$$

$$U_{2,7,3} := I_{2,7,3} \cdot X_{2,1,3} = 601.735 \text{ В} \quad U_{2,14,3} := I_{2,14,3} \cdot X_{2,10,3} = 947.909 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 5 гармонике:

$$X_{\text{АмурОп276.5}} := n_1 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 69 = 148.005$$

$$X_{\text{Оп276Кор.5}} := n_1 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 68.85 = 147.683$$

$$X_{\text{КорОп190.5}} := n_1 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 12.6 = 27.027$$

$$X_{\text{Оп190Зав.5}} := n_1 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 39.05 = 83.762$$

$$X_{\text{САмурОп276.5}} := \frac{-69}{n_1 \cdot b_{\text{уд300}}} = -5.227 \times 10^4$$

$$X_{\text{СОп276Кор.5}} := \frac{-68.85}{n_1 \cdot b_{\text{уд300}}} = -5.216 \times 10^4$$

$$X_{\text{СКорОп190.5}} := \frac{-12.6}{n_1 \cdot b_{\text{уд300}}} = -9.545 \times 10^3$$

$$X_{\text{СОп190Зав.5}} := \frac{-39.05}{n_1 \cdot b_{\text{уд300}}} = -2.958 \times 10^4$$

$$X_{2,1,5} := \frac{n_1 \cdot X_{B1} \cdot n_1 \cdot X_{H1}}{n_1 \cdot X_{R1} + n_1 \cdot X_{H1}} = 99.296$$

$$X_{2,2,5} := \frac{n_1 \cdot X_{B6} \cdot n_1 \cdot X_{H6}}{n_1 \cdot X_{B6} + n_1 \cdot X_{H6}} = 169.746$$

$$X_{2,9,5} := \frac{n_1 \cdot X_{B7} \cdot n_1 \cdot X_{H7}}{n_1 \cdot X_{R7} + n_1 \cdot X_{H7}} = 333.333$$

$$X_{2,10,5} := \frac{n_1 \cdot X_{B8} \cdot n_1 \cdot X_{H8}}{n_1 \cdot X_{B8} + n_1 \cdot X_{H8}} = 145.774$$

$$X_{2,3,5} := n_1 \cdot X_{B4} + n_1 \cdot X_{C4} + \frac{n_1 \cdot X_{B4} \cdot n_1 \cdot X_{C4}}{n_1 \cdot X_{H3}} = 825$$

$$X_{2,4,5} := n_1 \cdot X_{B4} + n_1 \cdot X_{H4} = 1.45 \times 10^3$$

$$X_{2,5,5} := n_1 \cdot X_{H4} + n_1 \cdot X_{C4} + \frac{n_1 \cdot X_{H4} \cdot n_1 \cdot X_{C4}}{n_1 \cdot X_{B4}} = 625$$

$$X_{2,6,5} := n_1 \cdot X_{B4} + n_1 \cdot X_{C4} + \frac{n_1 \cdot X_{B4} \cdot n_1 \cdot X_{C4}}{n_1 \cdot X_{H4}} = 825$$

$$X_{2,7,5} := n_1 \cdot X_{H4} + n_1 \cdot X_{C4} + \frac{n_1 \cdot X_{H4} \cdot n_1 \cdot X_{C4}}{n_1 \cdot X_{B4}} = 625$$

$$X_{2,8,5} := n_1 \cdot X_{B4} + n_1 \cdot X_{H4} = 1.45 \times 10^3$$

1 эквивалент

$$X_{2.11.5} := \frac{X_{CA\text{AyrOn}276.5} \cdot X_{2.2.5}}{X_{CA\text{AyrOn}276.5} + X_{2.2.5}} = 170.299 \quad X_{2.13.5} := \frac{X_{CKopOn190.5} \cdot X_{2.9.5}}{X_{CKopOn190.5} + X_{2.9.5}} = 345.395$$

$$X_{2.12.5} := \frac{X_{CO\text{On}276Kop.5} \cdot X_{2.4.5}}{X_{CO\text{On}276Kop.5} + X_{2.4.5}} = 1.491 \times 10^3 \quad X_{2.14.5} := \frac{X_{CO\text{On}1903\text{ab}.5} \cdot X_{2.10.5}}{X_{CO\text{On}1903\text{ab}.5} + X_{2.10.5}} = 146.496$$

$$X_{2.15.5} := X_{On276Kop.5} + X_{2.3.5} + \frac{X_{On276Kop.5} \cdot X_{2.3.5}}{X_{2.12.5}} = 1.054 \times 10^3$$

$$X_{2.16.5} := X_{On276Kop.5} + X_{2.12.5} + \frac{X_{On276Kop.5} \cdot X_{2.12.5}}{X_{2.3.5}} = 1.906 \times 10^3$$

$$X_{2.17.5} := X_{2.3.5} + X_{2.12.5} + \frac{X_{2.3.5} \cdot X_{2.12.5}}{X_{On276Kop.5}} = 1.065 \times 10^4$$

$$X_{2.18.5} := X_{KopOn190.5} + X_{2.6.5} + \frac{X_{KopOn190.5} \cdot X_{2.6.5}}{X_{2.8.5}} = 867.404$$

$$X_{2.19.5} := X_{2.6.5} + X_{2.8.5} + \frac{X_{2.6.5} \cdot X_{2.8.5}}{X_{KopOn190.5}} = 4.654 \times 10^4 \quad X_{2.21.5} := \frac{X_{2.11.5} \cdot X_{2.16.5}}{X_{2.11.5} + X_{2.16.5}} = 156.332$$

$$X_{2.20.5} := X_{KopOn190.5} + X_{2.8.5} + \frac{X_{KopOn190.5} \cdot X_{2.8.5}}{X_{2.6.5}} = 1.525 \times 10^3 \quad X_{2.22.5} := \frac{X_{2.20.5} \cdot X_{2.13.5}}{X_{2.20.5} + X_{2.13.5}} = 281.597$$

$$X_{2.23.5} := X_{A\text{AyrOn}276.5} + X_{2.15.5} + \frac{X_{A\text{AyrOn}276.5} \cdot X_{2.15.5}}{X_{2.21.5}} = 2.201 \times 10^3$$

$$X_{2.24.5} := X_{A\text{AyrOn}276.5} + X_{2.21.5} + \frac{X_{A\text{AyrOn}276.5} \cdot X_{2.21.5}}{X_{2.15.5}} = 326.282$$

$$X_{2.25.5} := X_{2.15.5} + X_{2.21.5} + \frac{X_{2.15.5} \cdot X_{2.21.5}}{X_{A\text{AyrOn}276.5}} = 2.324 \times 10^3$$

$$X_{2.26.5} := X_{2.18.5} + X_{On1903\text{ab}.5} + \frac{X_{2.18.5} \cdot X_{On1903\text{ab}.5}}{X_{2.22.5}} = 1.209 \times 10^3$$

$$X_{2.27.5} := X_{2.18.5} + X_{2.22.5} + \frac{X_{2.18.5} \cdot X_{2.22.5}}{X_{On1903\text{ab}.5}} = 4.065 \times 10^3$$

$$X_{2.28.5} := X_{On1903\text{ab}.5} + X_{2.22.5} + \frac{X_{On1903\text{ab}.5} \cdot X_{2.22.5}}{X_{2.18.5}} = 380.455$$

$$X_{2.29.5} := \frac{X_{2.1.5} \cdot X_{2.24.5}}{X_{2.1.5} + X_{2.24.5}} = 76.128 \quad X_{2.32.5} := \frac{X_{2.28.5} \cdot X_{2.14.5}}{X_{2.28.5} + X_{2.14.5}} = 105.769$$

$$X_{2.30.5} := \frac{X_{2.25.5} \cdot X_{2.17.5}}{X_{2.25.5} + X_{2.17.5}} = 1.908 \times 10^3 \quad X_{2.33.5} := \frac{X_{2.23.5} \cdot X_{2.29.5}}{X_{2.23.5} + X_{2.29.5}} = 73.583$$

$$X_{2.31.5} := \frac{X_{2.27.5} \cdot X_{2.19.5}}{X_{2.27.5} + X_{2.19.5}} = 3.739 \times 10^3 \quad X_{2.34.5} := \frac{X_{2.26.5} \cdot X_{2.32.5}}{X_{2.26.5} + X_{2.32.5}} = 97.261$$

$$X_{2.33\text{a}.5} := \frac{X_{2.33.5} \cdot X_{2.30.5}}{X_{2.33.5} + X_{2.30.5}} = 70.85 \quad X_{2.33\text{a}\text{II}.5} := \frac{X_{2.31.5} \cdot X_{2.34.5}}{X_{2.31.5} + X_{2.34.5}} = 94.795$$

$$S_{\text{нар}Kop_{\tau}} := \frac{0.85 \sqrt{(21.2)^2 + (6.8)^2} \cdot 10^3}{2} = 9.462 \times 10^3 \text{ кВт}$$

$$I_{2.5} := \frac{S_{\text{нагрКор.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = 24.837 \text{ A}$$

Коэф. для тока протекающего на X5 и X7:

$$K_{2.1.5} := \frac{X_{2.эксI.5}}{X_{2.5.5} + X_{2.эксI.5}} = 0.102$$

$$K_{2.8.5} := \frac{X_{2.эксII.5}}{X_{2.7.5} + X_{2.эксII.5}} = 0.132$$

Ток, протекающий на X5 и X7:

$$I_{2.1.5} := K_{2.1.5} \cdot I_{2.5} = 2.528 \text{ A}$$

$$I_{2.8.5} := K_{2.8.5} \cdot I_{2.5} = 3.27 \text{ A}$$

$$U_{2.1.5} := I_{2.1.5} \cdot X_{2.5.5} = 1.58 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.8.5} := I_{2.8.5} \cdot X_{2.7.5} = 2.044 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на X3 и X6:

$$K_{2.2.5} := \frac{X_{2.5.5}}{X_{2.5.5} + X_{2.эксI.5}} = 0.898$$

$$K_{2.9.5} := \frac{X_{2.7.5}}{X_{2.7.5} + X_{2.эксII.5}} = 0.868$$

Ток, протекающий на X3 и X6:

$$I_{2.2.5} := K_{2.2.5} \cdot I_{2.5} = 22.303 \text{ A}$$

$$I_{2.9.5} := K_{2.9.5} \cdot I_{2.5} = 21.561 \text{ A}$$

$$U_{2.2.5} := I_{2.2.5} \cdot X_{2.эксI.5} = 1.58 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.9.5} := I_{2.9.5} \cdot X_{2.эксII.5} = 2.044 \times 10^3 \text{ В}$$

2 эквивалент

$$X_{2.35.5} := \frac{X_{\text{САмурОп276.5}} \cdot X_{2.2.5}}{X_{\text{САмурОп276.5}} + X_{2.2.5}} = 170.299$$

$$X_{2.36.5} := \frac{X_{\text{СКорОп190.5}} \cdot X_{2.9.5}}{X_{\text{СКорОп190.5}} + X_{2.9.5}} = 345.395$$

$$X_{2.38.5} := \frac{X_{\text{СОп1903ав.5}} \cdot X_{2.10.5}}{X_{\text{СОп1903ав.5}} + X_{2.10.5}} = 146.496$$

$$X_{2.39.5} := X_{\text{АмурОп276.5}} + X_{\text{Оп276Кор.5}} + \frac{X_{\text{АмурОп276.5}} \cdot X_{\text{Оп276Кор.5}}}{X_{2.35.5}} = 424.038$$

$$X_{2.40.5} := X_{\text{АмурОп276.5}} + X_{2.35.5} + \frac{X_{\text{АмурОп276.5}} \cdot X_{2.35.5}}{X_{\text{Оп276Кор.5}}} = 488.975$$

$$X_{2.41.5} := X_{2.35.5} + X_{\text{Оп276Кор.5}} + \frac{X_{2.35.5} \cdot X_{\text{Оп276Кор.5}}}{X_{\text{АмурОп276.5}}} = 487.912$$

$$X_{2.42.5} := X_{\text{КорОп190.5}} + X_{\text{Оп1903ав.5}} + \frac{X_{\text{КорОп190.5}} \cdot X_{\text{Оп1903ав.5}}}{X_{2.36.5}} = 117.344$$

$$X_{2.43.5} := X_{\text{КорОп190.5}} + X_{2.36.5} + \frac{X_{\text{КорОп190.5}} \cdot X_{2.36.5}}{X_{\text{Оп1903ав.5}}} = 483.868$$

$$X_{2.44.5} := X_{\text{Оп1903ав.5}} + X_{2.36.5} + \frac{X_{\text{Оп1903ав.5}} \cdot X_{2.36.5}}{X_{\text{КорОп190.5}}} = 1.5 \times 10^3$$

$$X_{2.45.5} := \frac{X_{\text{СКорОп190.5}} \cdot X_{2.41.5}}{X_{\text{СКорОп190.5}} + X_{2.41.5}} = 514.195 \quad X_{2.47.5} := \frac{X_{2.1.5} \cdot X_{2.39.5}}{X_{2.1.5} + X_{2.39.5}} = 80.456$$

$$X_{2.46.5} := \frac{X_{2.44.5} \cdot X_{2.38.5}}{X_{2.44.5} + X_{2.38.5}} = 133.458 \quad X_{2.48.5} := \frac{X_{2.42.5} \cdot X_{2.46.5}}{X_{2.42.5} + X_{2.46.5}} = 62.442$$

$$X_{2.эксIII.5} := \frac{X_{2.47.5} \cdot X_{2.45.5}}{X_{2.47.5} + X_{2.45.5}} = 69.57 \quad X_{2.эксIV.5} := \frac{X_{2.43.5} \cdot X_{2.48.5}}{X_{2.43.5} + X_{2.48.5}} = 55.305$$

Коэф. для тока, протекающего на X4 и X8:

$$K_{2.3.5} := \frac{X_{2.эквIII.5}}{X_{2.4.5} + X_{2.эквIII.5}} = 0.046 \quad K_{2.10.5} := \frac{X_{2.эквIV.5}}{X_{2.8.5} + X_{2.эквIV.5}} = 0.037$$

Ток, протекающий на X4 и X8:

$$I_{2.3.5} := K_{2.3.5} \cdot I_{2.2.5} = 1.021 \text{ А} \quad I_{2.10.5} := K_{2.10.5} \cdot I_{2.0.5} = 0.792 \text{ А}$$

$$U_{2.3.5} := I_{2.3.5} \cdot X_{2.4.5} = 1.481 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.10.5} := I_{2.10.5} \cdot X_{2.8.5} = 1.149 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$K_{2.4.5} := \frac{X_{2.4.5}}{X_{2.4.5} + X_{2.эквIII.5}} = 0.954 \quad K_{2.11.5} := \frac{X_{2.8.5}}{X_{2.8.5} + X_{2.эквIV.5}} = 0.963$$

Ток, протекающий на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$I_{2.4.5} := K_{2.4.5} \cdot I_{2.2.5} = 21.282 \text{ А} \quad I_{2.11.5} := K_{2.11.5} \cdot I_{2.9.5} = 20.769 \text{ А}$$

$$U_{2.4.5} := I_{2.4.5} \cdot X_{2.эквIII.5} = 1.481 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.11.5} := I_{2.11.5} \cdot X_{2.эквIV.5} = 1.149 \times 10^3 \text{ В}$$

3 эквивалент

$$X_{2.49.5} := \frac{X_{\text{АмурОп276.5}} \cdot X_{2.1.5}}{X_{\text{АмурОп276.5}} + X_{2.1.5}} = 59.427 \quad X_{2.эквV.5} := \frac{X_{\text{САмурОп276.5}} \cdot X_{2.49.5}}{X_{\text{САмурОп276.5}} + X_{2.49.5}} = 59.495$$

$$X_{2.50.5} := \frac{X_{\text{Оп190Зав.5}} \cdot X_{2.10.5}}{X_{\text{Оп190Зав.5}} + X_{2.10.5}} = 146.496 \quad X_{2.эквVI.5} := \frac{X_{\text{Оп190Зав.5}} \cdot X_{2.50.5}}{X_{\text{Оп190Зав.5}} + X_{2.50.5}} = 53.292$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$K_{2.5.5} := \frac{X_{2.эквV.5}}{X_{2.2.5} + X_{2.эквV.5}} = 0.26 \quad K_{2.12.5} := \frac{X_{2.эквVI.5}}{X_{2.9.5} + X_{2.эквVI.5}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$I_{2.5.5} := K_{2.5.5} \cdot I_{2.4.5} = 5.523 \text{ А} \quad I_{2.12.5} := K_{2.12.5} \cdot I_{2.11.5} = 2.863 \text{ А}$$

$$U_{2.5.5} := I_{2.5.5} \cdot X_{2.2.5} = 937.569 \text{ В} \quad U_{2.12.5} := I_{2.12.5} \cdot X_{2.9.5} = 954.264 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$K_{2.6.5} := \frac{X_{2.2.5}}{X_{2.2.5} + X_{2.эквV.5}} = 0.74 \quad K_{2.13.5} := \frac{X_{2.9.5}}{X_{2.9.5} + X_{2.эквVI.5}} = 0.862$$

Ток, протекающий на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$I_{2.6.5} := K_{2.6.5} \cdot I_{2.4.5} = 15.759 \text{ А} \quad I_{2.13.5} := K_{2.13.5} \cdot I_{2.11.5} = 17.906 \text{ А}$$

$$U_{2.6.5} := I_{2.6.5} \cdot X_{2.эквV.5} = 937.569 \text{ В} \quad U_{2.13.5} := I_{2.13.5} \cdot X_{2.эквVI.5} = 954.264 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$X_{2.51.5} := \frac{X_{\text{САмурОп276.5}} \cdot X_{2.2.5}}{X_{\text{САмурОп276.5}} + X_{2.2.5}} = 170.299$$

$$X_{2.52.5} := \frac{X_{\text{Оп276Кор.5}} \cdot X_{2.4.5}}{X_{\text{Оп276Кор.5}} + X_{2.4.5}} = 878.795$$

$$X_{2.53.5} := \frac{X_{\text{СКорОп190.5}} \cdot X_{2.9.5}}{X_{\text{СКорОп190.5}} + X_{2.9.5}} = 345.395$$

$$X_{2.54.5} := X_{\text{Оп276Кор.5}} + X_{2.3.5} + \frac{X_{\text{Оп276Кор.5}} \cdot X_{2.3.5}}{X_{2.53.5}} = 1.111 \times 10^3$$

$$X_{2.55.5} := X_{\text{Оп276Кор.5}} + X_{2.52.5} + \frac{X_{\text{Оп276Кор.5}} \cdot X_{2.52.5}}{X_{2.3.5}} = 1.184 \times 10^3$$

$$X_{2.56.5} := X_{2.3.5} + X_{2.52.5} + \frac{X_{2.3.5} \cdot X_{2.52.5}}{X_{\text{Оп276Кор.5}}} = 6.613 \times 10^3$$

$$X_{2.37.5} := X_{2.6.5} + X_{\text{КорОп190.5}} + \frac{X_{2.6.5} \cdot X_{\text{КорОп190.5}}}{X_{2.8.5}} = 867.404$$

$$X_{2.57.5} := X_{2.6.5} + X_{2.8.5} + \frac{X_{2.6.5} \cdot X_{2.8.5}}{X_{\text{КорОп190.5}}} = 4.654 \times 10^4$$

$$X_{2.58.5} := X_{\text{КорОп190.5}} + X_{2.8.5} + \frac{X_{\text{КорОп190.5}} \cdot X_{2.8.5}}{X_{2.6.5}} = 1.525 \times 10^3$$

$$X_{2.59.5} := \frac{X_{2.51.5} \cdot X_{2.55.5}}{X_{2.51.5} + X_{2.55.5}} = 148.881 \quad X_{2.61.5} := \frac{X_{2.7.5} \cdot X_{2.57.5}}{X_{2.7.5} + X_{2.57.5}} = 616.717$$

$$X_{2.60.5} := \frac{X_{2.56.5} \cdot X_{2.5.5}}{X_{2.56.5} + X_{2.5.5}} = 571.031 \quad X_{2.62.5} := \frac{X_{2.58.5} \cdot X_{2.9.5}}{X_{2.58.5} + X_{2.9.5}} = 273.527$$

$$X_{2.63.5} := X_{\text{АмурОп276.5}} + X_{2.54.5} + \frac{X_{\text{АмурОп276.5}} \cdot X_{2.54.5}}{X_{2.59.5}} = 2.364 \times 10^3$$

$$X_{2.64.5} := X_{\text{АмурОп276.5}} + X_{2.59.5} + \frac{X_{\text{АмурОп276.5}} \cdot X_{2.59.5}}{X_{2.54.5}} = 316.714$$

$$X_{2.65.5} := X_{2.54.5} + X_{2.59.5} + \frac{X_{2.54.5} \cdot X_{2.59.5}}{X_{\text{АмурОп276.5}}} = 2.378 \times 10^3$$

$$X_{2.66.5} := X_{2.56.5} + X_{\text{Оп1903ав.5}} + \frac{X_{2.56.5} \cdot X_{\text{Оп1903ав.5}}}{X_{2.62.5}} = 8.722 \times 10^3$$

$$X_{2.67.5} := X_{2.56.5} + X_{2.62.5} + \frac{X_{2.56.5} \cdot X_{2.62.5}}{X_{\text{Оп1903ав.5}}} = 2.848 \times 10^4$$

$$X_{2.68.5} := X_{2.62.5} + X_{\text{Оп1903ав.5}} + \frac{X_{2.62.5} \cdot X_{\text{Оп1903ав.5}}}{X_{2.56.5}} = 360.936$$

$$X_{2.69.5} := \frac{X_{2.65.5} \cdot X_{2.60.5}}{X_{2.65.5} + X_{2.60.5}} = 460.465 \quad X_{2.71.5} := \frac{X_{2.68.5} \cdot X_{\text{Оп1903ав.5}}}{X_{2.68.5} + X_{\text{Оп1903ав.5}}} = 365.394$$

$$X_{2.70.5} := \frac{X_{2.61.5} \cdot X_{2.67.5}}{X_{2.61.5} + X_{2.67.5}} = 603.646 \quad X_{2.72.5} := \frac{X_{2.63.5} \cdot X_{2.69.5}}{X_{2.63.5} + X_{2.69.5}} = 385.4$$

$$X_{2.73.5} := \frac{X_{2.66.5} \cdot X_{2.70.5}}{X_{2.66.5} + X_{2.70.5}} = 564.572 \quad X_{2.эвVII.5} := \frac{X_{2.64.5} \cdot X_{2.72.5}}{X_{2.64.5} + X_{2.72.5}} = 173.849$$

$$X_{2.эвVIII.5} := \frac{X_{2.73.5} \cdot X_{2.71.5}}{X_{2.73.5} + X_{2.71.5}} = 221.827$$

Коэф. для тока протекающего на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$K_{2.7.5} := \frac{X_{2.эвVII.5}}{X_{2.1.5} + X_{2.эвVII.5}} = 0.636 \quad K_{2.14.5} := \frac{X_{2.эвVIII.5}}{X_{2.10.5} + X_{2.эвVIII.5}} = 0.603$$

Ток, протекающий на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$I_{2.7.5} := K_{2.7.5} \cdot I_{2.6.5} = 10.03 \text{ А} \quad I_{2.14.5} := K_{2.14.5} \cdot I_{2.12.5} = 10.806 \text{ А}$$

$$U_{2.7.5} := I_{2.7.5} \cdot X_{2.1.5} = 995.949 \text{ В} \quad U_{2.14.5} := I_{2.14.5} \cdot X_{2.10.5} = 1.575 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 7 гармонике:

$$\begin{aligned}
 X_{\text{АмурОн276.7}} &:= n_2 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 69 = 207.207 \\
 X_{\text{Он276Кор.7}} &:= n_2 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 68.85 = 206.757 \\
 X_{\text{КорОн190.7}} &:= n_2 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 12.6 = 37.838 \\
 X_{\text{Он190Зав.7}} &:= n_2 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 39.05 = 117.267 \\
 X_{\text{САмурОн276.7}} &:= \frac{-69}{n_2 \cdot b_{\text{уд300}}} = -3.734 \times 10^4 \\
 X_{\text{СОн276Кор.7}} &:= \frac{-68.85}{n_2 \cdot b_{\text{уд300}}} = -3.726 \times 10^4 \\
 X_{\text{СКорОн190.7}} &:= \frac{-12.6}{n_2 \cdot b_{\text{уд300}}} = -6.818 \times 10^3 \\
 X_{\text{СОн190Зав.7}} &:= \frac{-39.05}{n_2 \cdot b_{\text{уд300}}} = -2.113 \times 10^4 \\
 X_{2.1.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{\text{B1}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{H1}}}{n_2 \cdot X_{\text{R1}} + n_2 \cdot X_{\text{H1}}} = 139.015 \\
 X_{2.2.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{\text{B6}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{H6}}}{n_2 \cdot X_{\text{B6}} + n_2 \cdot X_{\text{H6}}} = 237.645 \\
 X_{2.9.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{\text{B7}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{H7}}}{n_2 \cdot X_{\text{R7}} + n_2 \cdot X_{\text{H7}}} = 466.667 \\
 X_{2.10.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{\text{B8}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{H8}}}{n_2 \cdot X_{\text{B8}} + n_2 \cdot X_{\text{H8}}} = 204.083 \\
 X_{2.3.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{B4}} + n_2 \cdot X_{\text{C4}} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{B4}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{C4}}}{n_2 \cdot X_{\text{H3}}} = 1.155 \times 10^3 \\
 X_{2.4.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{B4}} + n_2 \cdot X_{\text{H4}} = 2.03 \times 10^3 \\
 X_{2.5.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{H4}} + n_2 \cdot X_{\text{C4}} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{H4}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{C4}}}{n_2 \cdot X_{\text{R4}}} = 875 \\
 X_{2.6.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{B4}} + n_2 \cdot X_{\text{C4}} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{B4}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{C4}}}{n_2 \cdot X_{\text{H4}}} = 1.155 \times 10^3 \\
 X_{2.7.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{H4}} + n_2 \cdot X_{\text{C4}} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{H4}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{C4}}}{n_2 \cdot X_{\text{B4}}} = 875 \\
 X_{2.8.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{B4}} + n_2 \cdot X_{\text{H4}} = 2.03 \times 10^3 \\
 X_{2.11.7} &:= \frac{X_{\text{САмурОн276.7}} \cdot X_{2.2.7}}{X_{\text{САмурОн276.7}} + X_{2.2.7}} = 239.167 \\
 X_{2.12.7} &:= \frac{X_{\text{СОн276Кор.7}} \cdot X_{2.4.7}}{X_{\text{СОн276Кор.7}} + X_{2.4.7}} = 2.147 \times 10^3 \\
 X_{2.13.7} &:= \frac{X_{\text{СКорОн190.7}} \cdot X_{2.9.7}}{X_{\text{СКорОн190.7}} + X_{2.9.7}} = 500.954 \\
 X_{2.14.7} &:= \frac{X_{\text{СОн190Зав.7}} \cdot X_{2.10.7}}{X_{\text{СОн190Зав.7}} + X_{2.10.7}} = 206.073 \\
 X_{2.15.7} &:= X_{\text{Он276Кор.7}} + X_{2.3.7} + \frac{X_{\text{Он276Кор.7}} \cdot X_{2.3.7}}{X_{2.12.7}} = 1.473 \times 10^3 \\
 X_{2.16.7} &:= X_{\text{Он276Кор.7}} + X_{2.12.7} + \frac{X_{\text{Он276Кор.7}} \cdot X_{2.12.7}}{X_{2.3.7}} = 2.738 \times 10^3 \\
 X_{2.17.7} &:= X_{2.3.7} + X_{2.12.7} + \frac{X_{2.3.7} \cdot X_{2.12.7}}{X_{\text{Он276Кор.7}}} = 1.53 \times 10^4 \\
 X_{2.18.7} &:= X_{\text{КорОн190.7}} + X_{2.6.7} + \frac{X_{\text{КорОн190.7}} \cdot X_{2.6.7}}{X_{2.8.7}} = 1.214 \times 10^3 \\
 X_{2.19.7} &:= X_{2.6.7} + X_{2.8.7} + \frac{X_{2.6.7} \cdot X_{2.8.7}}{X_{\text{КорОн190.7}}} = 6.515 \times 10^4 \\
 X_{2.20.7} &:= X_{\text{КорОн190.7}} + X_{2.8.7} + \frac{X_{\text{КорОн190.7}} \cdot X_{2.8.7}}{X_{2.6.7}} = 2.134 \times 10^3 \\
 X_{2.21.7} &:= \frac{X_{2.11.7} \cdot X_{2.16.7}}{X_{2.11.7} + X_{2.16.7}} = 219.954 \\
 X_{2.22.7} &:= \frac{X_{2.20.7} \cdot X_{2.13.7}}{X_{2.20.7} + X_{2.13.7}} = 405.726 \\
 X_{2.23.7} &:= X_{\text{АмурОн276.7}} + X_{2.15.7} + \frac{X_{\text{АмурОн276.7}} \cdot X_{2.15.7}}{X_{2.21.7}} = 3.068 \times 10^3 \\
 X_{2.24.7} &:= X_{\text{АмурОн276.7}} + X_{2.21.7} + \frac{X_{\text{АмурОн276.7}} \cdot X_{2.21.7}}{X_{2.15.7}} = 458.103 \\
 X_{2.25.7} &:= X_{2.15.7} + X_{2.21.7} + \frac{X_{2.15.7} \cdot X_{2.21.7}}{X_{\text{АмурОн276.7}}} = 3.257 \times 10^3 \\
 X_{2.26.7} &:= X_{2.18.7} + X_{\text{Он190Зав.7}} + \frac{X_{2.18.7} \cdot X_{\text{Он190Зав.7}}}{X_{2.22.7}} = 1.683 \times 10^3 \\
 X_{2.27.7} &:= X_{2.18.7} + X_{2.22.7} + \frac{X_{2.18.7} \cdot X_{2.22.7}}{X_{\text{Он190Зав.7}}} = 5.822 \times 10^3
 \end{aligned}$$

$$X_{2.28.7} := X_{\text{Он}1903\text{ав}.7} + X_{2.22.7} + \frac{X_{\text{Он}1903\text{ав}.7} \cdot X_{2.21.7}}{X_{2.18.7}} = 544.233$$

$$X_{2.29.7} := \frac{X_{2.1.7} \cdot X_{2.24.7}}{X_{2.1.7} + X_{2.24.7}} = 106.651 \quad X_{2.31.7} := \frac{X_{2.27.7} \cdot X_{2.19.7}}{X_{2.27.7} + X_{2.19.7}} = 5.344 \times 10^3$$

$$X_{2.30.7} := \frac{X_{2.25.7} \cdot X_{2.17.7}}{X_{2.25.7} + X_{2.17.7}} = 2.685 \times 10^3 \quad X_{2.32.7} := \frac{X_{2.28.7} \cdot X_{2.14.7}}{X_{2.28.7} + X_{2.14.7}} = 149.475$$

$$X_{2.33.7} := \frac{X_{2.23.7} \cdot X_{2.29.7}}{X_{2.23.7} + X_{2.29.7}} = 103.068 \quad X_{2.\text{экв}I.7} := \frac{X_{2.33.7} \cdot X_{2.30.7}}{X_{2.33.7} + X_{2.30.7}} = 99.257$$

$$X_{2.34.7} := \frac{X_{2.26.7} \cdot X_{2.32.7}}{X_{2.26.7} + X_{2.32.7}} = 137.28 \quad X_{2.\text{экв}II.7} := \frac{X_{2.31.7} \cdot X_{2.34.7}}{X_{2.31.7} + X_{2.34.7}} = 133.842$$

$$S_{\text{нагрКор}_T} := \frac{0.85 \sqrt{(21.2)^2 + (6.8)^2} \cdot 10^3}{2} = 9.462 \times 10^6 \text{ кВт}$$

$$I_{2.7} := \frac{S_{\text{нагрКор}_T}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 24.831 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на X5 и X7:

$$K_{2.1.7} := \frac{X_{2.\text{экв}I.7}}{X_{2.5.7} + X_{2.\text{экв}I.7}} = 0.102 \quad K_{2.8.7} := \frac{X_{2.\text{экв}II.7}}{X_{2.7.7} + X_{2.\text{экв}II.7}} = 0.133$$

Ток, протекающий на X5 и X7:

$$I_{2.1.7} := K_{2.1.7} \cdot I_{2.7} = 2.53 \text{ А} \quad I_{2.8.7} := K_{2.8.7} \cdot I_{2.7} = 3.294 \text{ А}$$

$$U_{2.1.7} := I_{2.1.7} \cdot X_{2.5.7} = 2.214 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.8.7} := I_{2.8.7} \cdot X_{2.7.7} = 2.883 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на X3 и X6:

$$K_{2.2.7} := \frac{X_{2.5.7}}{X_{2.5.7} + X_{2.\text{экв}I.7}} = 0.898 \quad K_{2.9.7} := \frac{X_{2.7.7}}{X_{2.7.7} + X_{2.\text{экв}II.7}} = 0.867$$

Ток, протекающий на X3 и X6:

$$I_{2.2.7} := K_{2.2.7} \cdot I_{2.7} = 22.302 \text{ А} \quad I_{2.9.7} := K_{2.9.7} \cdot I_{2.7} = 21.537 \text{ А}$$

$$U_{2.2.7} := I_{2.2.7} \cdot X_{2.\text{экв}I.7} = 2.214 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.9.7} := I_{2.9.7} \cdot X_{2.\text{экв}II.7} = 2.883 \times 10^3 \text{ В}$$

Эквивалент

$$X_{2.35.7} := \frac{X_{\text{САмурОн}276.7} \cdot X_{2.2.7}}{X_{\text{САмурОн}276.7} + X_{2.2.7}} = 239.167 \quad X_{2.38.7} := \frac{X_{\text{COн}1903\text{ав}.7} \cdot X_{2.10.7}}{X_{\text{COн}1903\text{ав}.7} + X_{2.10.7}} = 206.073$$

$$X_{2.36.7} := \frac{X_{\text{СКорОн}190.7} \cdot X_{2.9.7}}{X_{\text{СКорОн}190.7} + X_{2.9.7}} = 500.954$$

$$X_{2.39.7} := X_{\text{АмурОн}276.7} + X_{\text{Он}276\text{Кор}.7} + \frac{X_{\text{АмурОн}276.7} \cdot X_{\text{Он}276\text{Кор}.7}}{X_{2.35.7}} = 593.091$$

$$X_{2.40.7} := X_{\text{АмурОн}276.7} + X_{2.35.7} + \frac{X_{\text{АмурОн}276.7} \cdot X_{2.35.7}}{X_{\text{Он}276\text{Кор}.7}} = 686.062$$

$$X_{2.41.7} := X_{2.35.7} + X_{\text{Он}276\text{Кор}.7} + \frac{X_{2.35.7} \cdot X_{\text{Он}276\text{Кор}.7}}{X_{\text{АмурОн}276.7}} = 684.571$$

$$X_{2.42.7} := X_{\text{КорОн}190.7} + X_{\text{Он}1903\text{ав}.7} + \frac{X_{\text{КорОн}190.7} \cdot X_{\text{Он}1903\text{ав}.7}}{X_{2.36.7}} = 163.962$$

$$X_{2.43.7} := X_{\text{КорОн}190.7} + X_{2.36.7} + \frac{X_{\text{КорОн}190.7} \cdot X_{2.36.7}}{X_{\text{Он}1903\text{ав}.7}} = 700.432$$

$$X_{2.44.7} := X_{\text{Оп190Зав.7}} + X_{2.36.7} + \frac{X_{\text{Оп190Зав.7}} \cdot X_{2.36.7}}{X_{\text{КорОп190.7}}} = 2.171 \times 10^3$$

$$X_{2.45.7} := \frac{X_{\text{СКорОп190.7}} \cdot X_{2.41.7}}{X_{\text{СКорОп190.7}} + X_{2.41.7}} = 760.976$$

$$X_{2.46.7} := \frac{X_{2.44.7} \cdot X_{2.38.7}}{X_{2.44.7} + X_{2.38.7}} = 188.207 \quad X_{2.48.7} := \frac{X_{2.42.7} \cdot X_{2.46.7}}{X_{2.42.7} + X_{2.46.7}} = 87.625$$

$$X_{2.47.7} := \frac{X_{2.1.7} \cdot X_{2.39.7}}{X_{2.1.7} + X_{2.39.7}} = 112.618 \quad X_{2.эквIII.7} := \frac{X_{2.47.7} \cdot X_{2.45.7}}{X_{2.47.7} + X_{2.45.7}} = 98.1$$

$$X_{2.эквIV.7} := \frac{X_{2.43.7} \cdot X_{2.48.7}}{X_{2.43.7} + X_{2.48.7}} = 77.882$$

Коэф. для тока, протекающего на X4 и X8:

$$K_{2.3.7} := \frac{X_{2.эквIII.7}}{X_{2.4.7} + X_{2.эквIII.7}} = 0.046 \quad K_{2.10.7} := \frac{X_{2.эквIV.7}}{X_{2.8.7} + X_{2.эквIV.7}} = 0.037$$

Ток, протекающий на X4 и X8:

$$I_{2.3.7} := K_{2.3.7} \cdot I_{2.7} = 1.028 \text{ А} \quad I_{2.10.7} := K_{2.10.7} \cdot I_{2.8.7} = 0.796 \text{ А}$$

$$U_{2.3.7} := I_{2.3.7} \cdot X_{2.4.7} = 2.087 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.10.7} := I_{2.10.7} \cdot X_{2.8.7} = 1.615 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока протекающего на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$K_{2.4.7} := \frac{X_{2.4.7}}{X_{2.4.7} + X_{2.эквIII.7}} = 0.954 \quad K_{2.11.7} := \frac{X_{2.8.7}}{X_{2.8.7} + X_{2.эквIV.7}} = 0.963$$

Ток, протекающий на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$I_{2.4.7} := K_{2.4.7} \cdot I_{2.7} = 21.274 \text{ А} \quad I_{2.11.7} := K_{2.11.7} \cdot I_{2.9.7} = 20.742 \text{ А}$$

$$U_{2.4.7} := I_{2.4.7} \cdot X_{2.эквIII.7} = 2.087 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.11.7} := I_{2.11.7} \cdot X_{2.эквIV.7} = 1.615 \times 10^3 \text{ В}$$

3 эквивалент

$$X_{2.49.7} := \frac{X_{\text{АмурОп276.7}} \cdot X_{2.1.7}}{X_{\text{АмурОп276.7}} + X_{2.1.7}} = 83.198 \quad X_{2.эквV.7} := \frac{X_{\text{САмурОп276.7}} \cdot X_{2.49.7}}{X_{\text{САмурОп276.7}} + X_{2.49.7}} = 83.383$$

$$X_{2.50.7} := \frac{X_{\text{СОп190Зав.7}} \cdot X_{2.10.7}}{X_{\text{СОп190Зав.7}} + X_{2.10.7}} = 206.073 \quad X_{2.эквVI.7} := \frac{X_{\text{Оп190Зав.7}} \cdot X_{2.50.7}}{X_{\text{Оп190Зав.7}} + X_{2.50.7}} = 74.737$$

Коэф. для тока протекающего на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$K_{2.5.7} := \frac{X_{2.эквV.7}}{X_{2.2.7} + X_{2.эквV.7}} = 0.26 \quad K_{2.12.7} := \frac{X_{2.эквVI.7}}{X_{2.9.7} + X_{2.эквVI.7}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$I_{2.5.7} := K_{2.5.7} \cdot I_{2.4.7} = 5.526 \text{ А} \quad I_{2.12.7} := K_{2.12.7} \cdot I_{2.11.7} = 2.863 \text{ А}$$

$$U_{2.5.7} := I_{2.5.7} \cdot X_{2.2.7} = 1.313 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.12.7} := I_{2.12.7} \cdot X_{2.9.7} = 1.336 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$K_{2.6.7} := \frac{X_{2.2.7}}{X_{2.2.7} + X_{2.эквV.7}} = 0.74 \quad K_{2.13.7} := \frac{X_{2.9.7}}{X_{2.9.7} + X_{2.эквVI.7}} = 0.862$$

Ток, протекающий на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$I_{2.6.7} := K_{2.6.7} \cdot I_{2.4.7} = 15.748 \text{ А} \quad I_{2.13.7} := K_{2.13.7} \cdot I_{2.11.7} = 17.878 \text{ А}$$

$$U_{2.6.7} := I_{2.6.7} \cdot X_{2.эквV.7} = 1.313 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.13.7} := I_{2.13.7} \cdot X_{2.эквVI.7} = 1.336 \times 10^3 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$\begin{aligned}
 X_{2.51.7} &:= \frac{X_{CAмурОн276.7} \cdot X_{2.2.7}}{X_{CAмврОн276.7} + X_{2.2.7}} = 239.167 & X_{2.53.7} &:= \frac{X_{CKopОн190.7} \cdot X_{2.9.7}}{X_{CKopОн190.7} + X_{2.9.7}} = 500.954 \\
 X_{2.52.7} &:= \frac{X_{CОн276Kop.7} \cdot X_{2.4.7}}{X_{CОн276Kop.7} + X_{2.4.7}} = 2.147 \times 10^3 \\
 X_{2.54.7} &:= X_{Он276Kop.7} + X_{2.3.7} + \frac{X_{Он276Kop.7} \cdot X_{2.3.7}}{X_{2.3.7}} = 1.473 \times 10^3 \\
 X_{2.55.7} &:= X_{Он276Kop.7} + X_{2.52.7} + \frac{X_{Он276Kop.7} \cdot X_{2.52.7}}{X_{2.3.7}} = 2.738 \times 10^3 & X_{2.59.7} &:= \frac{X_{2.51.7} \cdot X_{2.55.7}}{X_{2.51.7} + X_{2.55.7}} = 219.954 \\
 X_{2.56.7} &:= X_{2.3.7} + X_{2.52.7} + \frac{X_{2.3.7} \cdot X_{2.52.7}}{X_{Он276Kop.7}} = 1.53 \times 10^4 \\
 X_{2.57.7} &:= X_{2.6.7} + X_{KopОн190.7} + \frac{X_{2.6.7} \cdot X_{KopОн190.7}}{X_{2.8.7}} = 1.214 \times 10^3 & X_{2.60.7} &:= \frac{X_{2.56.7} \cdot X_{2.5.7}}{X_{2.56.7} + X_{2.5.7}} = 827.653 \\
 X_{2.57.7} &:= X_{2.6.7} + X_{2.8.7} + \frac{X_{2.6.7} \cdot X_{2.8.7}}{X_{KopОн190.7}} = 6.515 \times 10^4 & X_{2.61.7} &:= \frac{X_{2.7.7} \cdot X_{2.57.7}}{X_{2.7.7} + X_{2.57.7}} = 863.404 \\
 X_{2.58.7} &:= X_{KopОн190.7} + X_{2.8.7} + \frac{X_{KopОн190.7} \cdot X_{2.8.7}}{X_{2.6.7}} = 2.134 \times 10^3 & X_{2.62.7} &:= \frac{X_{2.58.7} \cdot X_{2.9.7}}{X_{2.58.7} + X_{2.9.7}} = 382.938 \\
 X_{2.63.7} &:= X_{АмурОн276.7} + X_{2.54.7} + \frac{X_{АмурОн276.7} \cdot X_{2.54.7}}{X_{2.59.7}} = 3.068 \times 10^3 \\
 X_{2.64.7} &:= X_{АмурОн276.7} + X_{2.59.7} + \frac{X_{АмурОн276.7} \cdot X_{2.59.7}}{X_{2.54.7}} = 458.103 \\
 X_{2.65.7} &:= X_{2.54.7} + X_{2.59.7} + \frac{X_{2.54.7} \cdot X_{2.59.7}}{X_{АмврОн276.7}} = 3.257 \times 10^3 \\
 X_{2.66.7} &:= X_{2.56.7} + X_{Он1903ав.7} + \frac{X_{2.56.7} \cdot X_{Он1903ав.7}}{X_{2.62.7}} = 2.01 \times 10^4 \\
 X_{2.67.7} &:= X_{2.56.7} + X_{2.62.7} + \frac{X_{2.56.7} \cdot X_{2.62.7}}{X_{Он1903ав.7}} = 6.563 \times 10^4 \\
 X_{2.68.7} &:= X_{2.62.7} + X_{Он1903ав.7} + \frac{X_{2.62.7} \cdot X_{Он1903ав.7}}{X_{2.56.7}} = 503.141 \\
 X_{2.69.7} &:= \frac{X_{2.65.7} \cdot X_{2.60.7}}{X_{2.65.7} + X_{2.60.7}} = 659.931 & X_{2.71.7} &:= \frac{X_{2.68.7} \cdot X_{CОн1903ав.7}}{X_{2.68.7} + X_{CОн1903ав.7}} = 515.414 \\
 X_{2.70.7} &:= \frac{X_{2.61.7} \cdot X_{2.67.7}}{X_{2.61.7} + X_{2.67.7}} = 852.192 & X_{2.72.7} &:= \frac{X_{2.63.7} \cdot X_{2.69.7}}{X_{2.63.7} + X_{2.69.7}} = 543.102 \\
 X_{2.73.7} &:= \frac{X_{2.66.7} \cdot X_{2.70.7}}{X_{2.66.7} + X_{2.70.7}} = 817.526 & X_{2.эквVII.7} &:= \frac{X_{2.64.7} \cdot X_{2.72.7}}{X_{2.64.7} + X_{2.72.7}} = 248.497 \\
 & & X_{2.эквVIII.7} &:= \frac{X_{2.73.7} \cdot X_{2.71.7}}{X_{2.73.7} + X_{2.71.7}} = 316.116
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$K_{2.7.7} := \frac{X_{2.эквVII.7}}{X_{2.1.7} + X_{2.эквVII.7}} = 0.641 \qquad K_{2.14.7} := \frac{X_{2.эквVIII.7}}{X_{2.10.7} + X_{2.эквVIII.7}} = 0.608$$

Ток, протекающий на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$I_{2.7.7} := K_{2.7.5} \cdot I_{2.6.7} = 10.023 \text{ А} \qquad I_{2.14.7} := K_{2.14.7} \cdot I_{2.13.7} = 10.864 \text{ А}$$

$$U_{2,7.7} := I_{2,7.7} \cdot X_{2,1.7} = 1.393 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2,14.7} := I_{2,14.7} \cdot X_{2,10.7} = 2.217 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование линии ПС Амурская-ПС М.Чесноковская/т

Преобразование электрической схемы на 1 гармонике:

$$\begin{aligned} X_{3,1} &:= X_{H9} + X_{C9} + \frac{X_{H9} \cdot X_{C9}}{X_{B9}} = 62.5 & X_{3,3} &:= X_{B9} + X_{H9} = 145 \\ X_{3,2} &:= X_{B9} + X_{C9} + \frac{X_{B9} \cdot X_{C9}}{X_{H9}} = 82.5 & X_{3,4} &:= \frac{X_{B1} \cdot X_{H1}}{X_{B1} + X_{H1}} = 19.859 \\ X_{3,5} &:= X_{3,2} + X_{\text{АмурМЧ}} + \frac{X_{3,2} \cdot X_{\text{АмурМЧ}}}{X_{3,3}} = 85.134 & X_{3,7} &:= X_{\text{АмурМЧ}} + X_{3,3} + \frac{X_{\text{АмурМЧ}} \cdot X_{3,3}}{X_{3,2}} = 149.63 \\ X_{3,6} &:= X_{3,2} + X_{3,3} + \frac{X_{3,2} \cdot X_{3,3}}{X_{\text{АмурМЧ}}} = 7.352 \times 10^3 & X_{3,8} &:= \frac{X_{3,1} \cdot X_{3,6}}{X_{3,1} + X_{3,6}} = 61.973 \\ X_{3,9} &:= \frac{X_{3,7} \cdot X_{\text{САмурМЧ}}}{X_{3,7} + X_{\text{САмурМЧ}}} = 151.154 \\ X_{3,10} &:= \frac{X_{3,5} \cdot X_{3,9}}{X_{3,5} + X_{3,9}} = 54.461 & X_{3,\text{экв1}} &:= \frac{X_{3,8} \cdot X_{3,10}}{X_{3,8} + X_{3,10}} = 28.987 \\ S_{\text{нагрМЧ}_T} &:= \frac{0.85 \sqrt{(48.5)^2 + 20.1^2} \cdot 10^3}{2} = 2.231 \times 10^3 \text{ кВт} & I_3 &:= \frac{S_{\text{нагрМЧ}_T}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 58.55 \text{ А} \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_3 := \frac{X_{3,\text{экв1}}}{X_{3,4} + X_{3,\text{экв1}}} = 0.593$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{3,1} := K_3 \cdot I_3 = 34.749 \text{ А} \quad U_{3,1} := I_{3,1} \cdot X_{3,4} = 690.084 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 3 гармонике:

$$\begin{aligned} n &:= 3 \\ X_{\text{АмурМЧ}1.3} &:= n \cdot X_{\text{уд}240} \cdot 7.72 = 10.075 & X_{\text{САмурМЧ}1.3} &:= \frac{-7.72}{n \cdot b_{\text{уд}240}} = -9.897 \times 10^3 \\ X_{\text{АмурМЧ}2.3} &:= n \cdot X_{\text{уд}240} \cdot 7.72 = 10.075 & X_{\text{САмурМЧ}2.3} &:= \frac{-7.72}{n \cdot b_{\text{уд}240}} = -9.897 \times 10^3 \\ X_{\text{АмурМЧ}3} &:= \frac{X_{\text{АмурМЧ}1.3} \cdot X_{\text{АмурМЧ}2.3}}{X_{\text{АмурМЧ}1.3} + X_{\text{АмурМЧ}2.3}} = 5.037 & X_{3,3.3} &:= n \cdot X_{B9} + n \cdot X_{H9} = 435 \\ X_{\text{САмурМЧ}3} &:= \frac{X_{\text{САмурМЧ}1.3} \cdot X_{\text{САмурМЧ}2.3}}{X_{\text{САмурМЧ}1.3} + X_{\text{САмурМЧ}2.3}} = -4.949 \times 10^3 & X_{3,4.3} &:= \frac{n \cdot X_{B1} \cdot n \cdot X_{H1}}{n \cdot X_{B1} + n \cdot X_{H1}} = 59.578 \\ X_{3,1.3} &:= n \cdot X_{H9} + n \cdot X_{C9} + \frac{n \cdot X_{H9} \cdot n \cdot X_{C9}}{n \cdot X_{B9}} = 187.5 \\ X_{3,2.3} &:= n \cdot X_{B9} + n \cdot X_{C9} + \frac{n \cdot X_{B9} \cdot n \cdot X_{C9}}{n \cdot X_{H9}} = 247.5 \end{aligned}$$

$$X_{3.5.3} := X_{3.2.3} + X_{\text{АмурМЧ3}} + \frac{X_{3.2.3} \cdot X_{\text{АмурМЧ3}}}{X_{3.3.3}} = 255.403$$

$$X_{3.6.3} := X_{3.2.3} + X_{3.3.3} + \frac{X_{3.2.3} \cdot X_{3.3.3}}{X_{\text{АмурМЧ3}}} = 2.206 \times 10^4 \quad X_{3.8.3} := \frac{X_{3.1.3} \cdot X_{3.6.3}}{X_{3.1.3} + X_{3.6.3}} = 185.919$$

$$X_{3.7.3} := X_{\text{АмурМЧ3}} + X_{3.3.3} + \frac{X_{\text{АмурМЧ3}} \cdot X_{3.3.3}}{X_{3.2.3}} = 448.891 \quad X_{3.9.3} := \frac{X_{3.7.3} \cdot X_{\text{САмурМЧ3}}}{X_{3.7.3} + X_{\text{САмурМЧ3}}} = 493.671$$

$$X_{3.10.3} := \frac{X_{3.5.3} \cdot X_{3.9.3}}{X_{3.5.3} + X_{3.9.3}} = 168.321 \quad X_{3.эвл3} := \frac{X_{3.8.3} \cdot X_{3.10.3}}{X_{3.8.3} + X_{3.10.3}} = 88.342$$

$$S_{\text{нагрМЧ}_T} := \frac{0.85 \sqrt{(48.5)^2 + 20.1^2} \cdot 10^3}{2} = 2.231 \times 10^4 \text{ кВт} \quad I_{3.3} := \frac{S_{\text{нагрМЧ}_T}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 58.555 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{3.3} := \frac{X_{3.эвл3}}{X_{3.4.3} + X_{3.эвл3}} = 0.597$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{3.1.3} := K_{3.3} \cdot I_{3.3} = 34.971 \text{ А} \quad U_{3.1.3} := I_{3.1.3} \cdot X_{3.4.3} = 2.083 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 5 гармонике:

$$n_1 := 5$$

$$X_{\text{АмурМЧ1.5}} := n_1 \cdot X_{\text{уд240}} \cdot 7.72 = 16.791$$

$$X_{\text{АмурМЧ2.5}} := n_1 \cdot X_{\text{уд240}} \cdot 7.72 = 16.791$$

$$X_{\text{АмурМЧ5}} := \frac{X_{\text{АмурМЧ1.5}} \cdot X_{\text{АмурМЧ2.5}}}{X_{\text{АмурМЧ1.5}} + X_{\text{АмурМЧ2.5}}} = 8.395$$

$$X_{3.4.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B1} \cdot n_1 \cdot X_{H1}}{n_1 \cdot X_{B1} + n_1 \cdot X_{H1}} = 99.296$$

$$X_{\text{САмурМЧ1.5}} := \frac{-7.72}{n_1 \cdot b_{\text{уд240}}} = -5.938 \times 10^3 \quad X_{3.1.5} := n_1 \cdot X_{H9} + n_1 \cdot X_{C9} + \frac{n_1 \cdot X_{H9} \cdot n_1 \cdot X_{C9}}{n_1 \cdot X_{H9}} = 312.5$$

$$X_{\text{САмурМЧ2.5}} := \frac{-7.72}{n_1 \cdot b_{\text{уд240}}} = -5.938 \times 10^3 \quad X_{3.2.5} := n_1 \cdot X_{B9} + n_1 \cdot X_{C9} + \frac{n_1 \cdot X_{B9} \cdot n_1 \cdot X_{C9}}{n_1 \cdot X_{H9}} = 412.5$$

$$X_{\text{САмурМЧ5}} := \frac{X_{\text{САмурМЧ1.5}} \cdot X_{\text{САмурМЧ2.5}}}{X_{\text{САмурМЧ1.5}} + X_{\text{САмурМЧ2.5}}} = -2.969 \times 10^3 \quad X_{3.3.5} := n_1 \cdot X_{B9} + n_1 \cdot X_{H9} = 725$$

$$X_{3.5.5} := X_{3.2.5} + X_{\text{АмурМЧ5}} + \frac{X_{3.2.5} \cdot X_{\text{АмурМЧ5}}}{X_{3.3.5}} = 425.672$$

$$X_{3.6.5} := X_{3.2.5} + X_{3.3.5} + \frac{X_{3.2.5} \cdot X_{3.3.5}}{X_{\text{АмурМЧ5}}} = 3.676 \times 10^4 \quad X_{3.8.5} := \frac{X_{3.1.5} \cdot X_{3.6.5}}{X_{3.1.5} + X_{3.6.5}} = 309.866$$

$$X_{3.7.5} := X_{\text{АмурМЧ5}} + X_{3.3.5} + \frac{X_{\text{АмурМЧ5}} \cdot X_{3.3.5}}{X_{3.2.5}} = 748.151 \quad X_{3.9.5} := \frac{X_{3.7.5} \cdot X_{\text{САмурМЧ5}}}{X_{3.7.5} + X_{\text{САмурМЧ5}}} = 1 \times 10^3$$

$$X_{3.эвл5} := \frac{X_{3.8.5} \cdot X_{3.10.5}}{X_{3.8.5} + X_{3.10.5}} = 152.062 \quad X_{3.10.5} := \frac{X_{3.5.5} \cdot X_{3.9.5}}{X_{3.5.5} + X_{3.9.5}} = 298.591$$

$$S_{\text{нагрМЧ}_T} := \frac{0.85 \sqrt{(48.5)^2 + 20.1^2} \cdot 10^3}{2} = 2.231 \times 10^4 \text{ кВт} \quad I_{3.5} := \frac{S_{\text{нагрМЧ}_T}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 58.555 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{3.5} := \frac{X_{3.эвл5}}{X_{3.4.5} + X_{3.эвл5}} = 0.605$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{3.1.5} := K_{3.5} \cdot I_{3.5} = 35.424 \text{ А} \quad U_{3.1.5} := I_{3.1.5} \cdot X_{3.4.5} = 3.517 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 7 гармонике: $n_2 := 7$

$$X_{\text{АмурМ.Ч.1.7}} := n_2 \cdot X_{\text{уд240}} \cdot 7.72 = 23.507$$

$$X_{\text{АмурМ.Ч.2.7}} := n_2 \cdot X_{\text{уд240}} \cdot 7.72 = 23.507$$

$$X_{\text{АмурМ.Ч.7}} := \frac{X_{\text{АмурМ.Ч.1.7}} \cdot X_{\text{АмурМ.Ч.2.7}}}{X_{\text{АмурМ.Ч.1.7}} + X_{\text{АмурМ.Ч.2.7}}} = 11.754$$

$$X_{\text{САмурМ.Ч.1.7}} := \frac{-7.72}{n_2 \cdot b_{\text{уд240}}} = -4.242 \times 10^3$$

$$X_{\text{САмурМ.Ч.2.7}} := \frac{-7.72}{n_2 \cdot b_{\text{уд240}}} = -4.242 \times 10^3$$

$$X_{\text{САмурМ.Ч.7}} := \frac{X_{\text{САмурМ.Ч.1.7}} \cdot X_{\text{САмурМ.Ч.2.7}}}{X_{\text{САмурМ.Ч.1.7}} + X_{\text{САмурМ.Ч.2.7}}} = -2.121 \times 10^3$$

$$X_{3.3.7} := n_2 \cdot X_{\text{В9}} + n_2 \cdot X_{\text{Н9}} = 1.015 \times 10^3$$

$$X_{3.1.7} := n_2 \cdot X_{\text{Н9}} + n_2 \cdot X_{\text{С9}} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{Н9}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{С9}}}{n_2 \cdot X_{\text{В9}}} = 437.5$$

$$X_{3.4.7} := \frac{n_2 \cdot X_{\text{В1}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{Н1}}}{n_2 \cdot X_{\text{В1}} + n_2 \cdot X_{\text{Н1}}} = 139.015$$

$$X_{3.2.7} := n_2 \cdot X_{\text{В9}} + n_2 \cdot X_{\text{С9}} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{В9}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{С9}}}{n_2 \cdot X_{\text{Н9}}} = 577.5$$

$$X_{3.5.7} := X_{3.2.7} + X_{\text{АмурМ.Ч.7}} + \frac{X_{3.2.7} \cdot X_{\text{АмурМ.Ч.7}}}{X_{3.2.7}} = 595.941$$

$$X_{3.6.7} := X_{3.2.7} + X_{3.3.7} + \frac{X_{3.2.7} \cdot X_{3.3.7}}{X_{\text{АмурМ.Ч.7}}} = 5.146 \times 10^4$$

$$X_{3.8.7} := \frac{X_{3.1.7} \cdot X_{3.6.7}}{X_{3.1.5} + X_{3.6.7}} = 434.859$$

$$X_{3.7.7} := X_{\text{АмурМ.Ч.7}} + X_{3.3.7} + \frac{X_{\text{АмурМ.Ч.7}} \cdot X_{3.3.7}}{X_{3.2.7}} = 1.047 \times 10^3$$

$$X_{3.9.7} := \frac{X_{3.7.7} \cdot X_{\text{САмурМ.Ч.7}}}{X_{3.7.7} + X_{\text{САмурМ.Ч.7}}} = 2.069 \times 10^3$$

$$X_{3.10.7} := \frac{X_{3.5.7} \cdot X_{3.9.7}}{X_{3.5.7} + X_{3.9.7}} = 462.695 \quad X_{3.\text{экв.7}} := \frac{X_{3.8.7} \cdot X_{3.10.7}}{X_{3.8.7} + X_{3.10.7}} = 224.173$$

$$S_{\text{нагрМ.Ч.т}} := \frac{0.85 \sqrt{(48.5)^2 + 20.1^2} \cdot 10^3}{2} = 2.231 \times 10^4 \text{ кВт}$$

$$I_{3.7} := \frac{S_{\text{нагрМ.Ч.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = 58.555 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{3.7} := \frac{X_{3.\text{экв.7}}}{X_{3.4.7} + X_{3.\text{экв.7}}} = 0.617$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{3.1.7} := K_{3.7} \cdot I_{3.7} = 36.142 \text{ А} \quad U_{3.1.7} := I_{3.1.7} \cdot X_{3.4.7} = 5.024 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование линии ПС Амурская-ПС Завитая/т

Преобразование электрической схемы на 1 гармонике:

$$X_{4.1} := X_{\text{Н10}} + X_{\text{С10}} + \frac{X_{\text{Н10}} \cdot X_{\text{С10}}}{X_{\text{В10}}} = 62.5$$

$$X_{4.3} := X_{\text{В10}} + X_{\text{Н10}} = 145$$

$$X_{4.2} := X_{\text{В10}} + X_{\text{С10}} + \frac{X_{\text{В10}} \cdot X_{\text{С10}}}{X_{\text{Н10}}} = 82.5$$

$$X_{4.4} := \frac{X_{\text{В8}} \cdot X_{\text{Н8}}}{X_{\text{В8}} + X_{\text{Н8}}} = 29.155$$

$$X_{4.5} := X_{4.2} + X_{3.\text{завзав.т}} + \frac{X_{4.2} \cdot X_{3.\text{завзав.т}}}{X_{4.3}} = 85.124$$

$$X_{4.7} := X_{3.\text{завзав.т}} + X_{4.3} + \frac{X_{3.\text{завзав.т}} \cdot X_{4.3}}{X_{4.2}} = 149.612$$

$$X_{4.6} := X_{4.2} + X_{4.3} + \frac{X_{4.2} \cdot X_{4.3}}{X_{3.\text{завзав.т}}} = 7.38 \times 10^3$$

$$X_{4.8} := \frac{X_{4.1} \cdot X_{4.6}}{X_{4.1} + X_{4.6}} = 61.975$$

$$X_{4,9} := \frac{X_{4,7} \cdot X_{C3\text{ав}3\text{ав}_\tau}}{X_{4,7} + X_{C3\text{ав}3\text{ав}_\tau}} = 151.141 \quad X_{4,10} := \frac{X_{4,5} \cdot X_{4,9}}{X_{4,5} + X_{4,9}} = 54.455 \quad X_{4,\text{экв1}} := \frac{X_{4,8} \cdot X_{4,10}}{X_{4,8} + X_{4,10}} = 28.986$$

$$S_{\text{нагр}3\text{ав}_\tau} := \frac{0.85 \sqrt{(20.7)^2 + 11.2^2} \cdot 10^3}{2} = 1 \times 10 \text{ кВт}$$

$$I_4 := \frac{S_{\text{нагр}3\text{ав}_\tau}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 26.25 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Завитая:

$$K_4 := \frac{X_{4,\text{экв1}}}{X_{4,4} + X_{4,\text{экв1}}} = 0.499$$

Ток, протекающий на ПС Завитая:

$$I_{4,1} := K_4 \cdot I_4 = 13.087 \text{ А} \quad U_{4,1} := I_{4,1} \cdot X_{4,4} = 381.549 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 3 гармонике: $n := 3$

$$X_{3\text{ав}3\text{ав}_\tau 1,3} := n \cdot X_{\text{уд}240} \cdot 7.69 = 10.035$$

$$X_{C3\text{ав}3\text{ав}_\tau 1,3} := \frac{-7.69}{n \cdot b_{\text{уд}240}} = -9.859 \times 10^3$$

$$X_{3\text{ав}3\text{ав}_\tau 2,3} := n \cdot X_{\text{уд}240} \cdot 7.69 = 10.035$$

$$X_{C3\text{ав}3\text{ав}_\tau 2,3} := \frac{-7.69}{n \cdot b_{\text{уд}240}} = -9.859 \times 10^3$$

$$X_{3\text{ав}3\text{ав}_\tau 3} := \frac{X_{3\text{ав}3\text{ав}_\tau 1,3} \cdot X_{3\text{ав}3\text{ав}_\tau 2,3}}{X_{3\text{ав}3\text{ав}_\tau 1,3} + X_{3\text{ав}3\text{ав}_\tau 2,3}} = 5.018$$

$$X_{C3\text{ав}3\text{ав}_\tau 3} := \frac{X_{C3\text{ав}3\text{ав}_\tau 1,3} \cdot X_{C3\text{ав}3\text{ав}_\tau 2,3}}{X_{C3\text{ав}3\text{ав}_\tau 1,3} + X_{C3\text{ав}3\text{ав}_\tau 2,3}} = -4.929 \times 10^3$$

$$X_{4,3,3} := n \cdot X_{B10} + n \cdot X_{H10} = 435$$

$$X_{4,1,3} := n \cdot X_{H10} + n \cdot X_{C10} + \frac{n \cdot X_{H10} \cdot n \cdot X_{C10}}{n \cdot X_{B10}} = 187.5$$

$$X_{4,2,3} := n \cdot X_{B10} + n \cdot X_{C10} + \frac{n \cdot X_{B10} \cdot n \cdot X_{C10}}{n \cdot X_{H10}} = 247.5$$

$$X_{4,4,3} := \frac{n \cdot X_{B8} \cdot n \cdot X_{H8}}{n \cdot X_{B8} + n \cdot X_{H8}} = 87.464$$

$$X_{4,5,3} := X_{4,2,3} + X_{3\text{ав}3\text{ав}_\tau 3} + \frac{X_{4,2,3} \cdot X_{3\text{ав}3\text{ав}_\tau 3}}{X_{4,3,3}} = 255.373$$

$$X_{4,6,3} := X_{4,2,3} + X_{4,3,3} + \frac{X_{4,2,3} \cdot X_{4,3,3}}{X_{3\text{ав}3\text{ав}_\tau 3}} = 2.214 \times 10^4$$

$$X_{4,8,3} := \frac{X_{4,1,3} \cdot X_{4,6,3}}{X_{4,1,3} + X_{4,6,3}} = 185.925$$

$$X_{4,7,3} := X_{3\text{ав}3\text{ав}_\tau 3} + X_{4,3,3} + \frac{X_{3\text{ав}3\text{ав}_\tau 3} \cdot X_{4,3,3}}{X_{4,2,3}} = 448.837$$

$$X_{4,9,3} := \frac{X_{4,7,3} \cdot X_{C3\text{ав}3\text{ав}_\tau 3}}{X_{4,7,3} + X_{C3\text{ав}3\text{ав}_\tau 3}} = 493.798$$

$$X_{4,10,3} := \frac{X_{4,5,3} \cdot X_{4,9,3}}{X_{4,5,3} + X_{4,9,3}} = 168.323$$

$$X_{4,\text{экв1}3} := \frac{X_{4,8,3} \cdot X_{4,10,3}}{X_{4,8,3} + X_{4,10,3}} = 88.343$$

$$S_{\text{нагр}3\text{ав}_\tau} := \frac{0.85 \sqrt{(20.7)^2 + 11.2^2} \cdot 10^3}{2} = 1 \times 10 \text{ кВт} \quad I_{4,3} := \frac{S_{\text{нагр}3\text{ав}_\tau}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 26.25 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Завитая:

$$K_{4,3} := \frac{X_{4,\text{экв1}3}}{X_{4,4,3} + X_{4,\text{экв1}3}} = 0.503$$

Ток, протекающий на ПС Завитая:

$$I_{4,1,3} := K_{4,3} \cdot I_{4,3} = 13.191 \text{ А} \quad U_{4,1,3} := I_{4,1,3} \cdot X_{4,4,3} = 1.154 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 5 гармонике: $n_1 := 5$

$$\begin{aligned}
 X_{3ав3ав_r1.5} &:= n_1 \cdot X_{уд240} \cdot 7.69 = 16.726 & X_{C3ав3ав_r1.5} &:= \frac{-7.69}{n_1 \cdot b_{уд240}} = -5.915 \times 10^3 \\
 X_{3ав3ав_r2.5} &:= n_1 \cdot X_{уд240} \cdot 7.69 = 16.726 & X_{C3ав3ав_r2.5} &:= \frac{-7.69}{n_1 \cdot b_{уд240}} = -5.915 \times 10^3 \\
 X_{3ав3ав_r5} &:= \frac{X_{3ав3ав_r1.5} \cdot X_{3ав3ав_r2.5}}{X_{3ав3ав_r1.5} + X_{3ав3ав_r2.5}} = 8.363 & X_{C3ав3ав_r5} &:= \frac{X_{C3ав3ав_r1.5} \cdot X_{C3ав3ав_r2.5}}{X_{C3ав3ав_r1.5} + X_{C3ав3ав_r2.5}} = -2.958 \times 10^3 \\
 X_{4.1.5} &:= n_1 \cdot X_{H10} + n_1 \cdot X_{C10} + \frac{n_1 \cdot X_{H10} \cdot n_1 \cdot X_{C10}}{n_1 \cdot X_{B10}} = 312.5 & X_{4.3.5} &:= n_1 \cdot X_{B10} + n_1 \cdot X_{H10} = 725 \\
 X_{4.2.5} &:= n_1 \cdot X_{B10} + n_1 \cdot X_{C10} + \frac{n_1 \cdot X_{B10} \cdot n_1 \cdot X_{C10}}{n_1 \cdot X_{H10}} = 412.5 & X_{4.4.5} &:= \frac{n_1 \cdot X_{B8} \cdot n_1 \cdot X_{H8}}{n_1 \cdot X_{B8} + n_1 \cdot X_{H8}} = 145.774 \\
 X_{4.5.5} &:= X_{4.2.5} + X_{3ав3ав_r5} + \frac{X_{4.2.5} \cdot X_{3ав3ав_r5}}{X_{4.3.5}} = 425.621 \\
 X_{4.6.5} &:= X_{4.2.5} + X_{4.3.5} + \frac{X_{4.2.5} \cdot X_{4.3.5}}{X_{3ав3ав_r5}} = 3.69 \times 10^4 & X_{4.8.5} &:= \frac{X_{4.1.5} \cdot X_{4.6.5}}{X_{4.1.5} + X_{4.6.5}} = 309.876 \\
 X_{4.7.5} &:= X_{3ав3ав_r5} + X_{4.3.5} + \frac{X_{3ав3ав_r5} \cdot X_{4.3.5}}{X_{4.2.5}} = 748.061 & X_{4.9.5} &:= \frac{X_{4.7.5} \cdot X_{C3ав3ав_r5}}{X_{4.7.5} + X_{C3ав3ав_r5}} = 1.001 \times 10^3 \\
 X_{4.10.5} &:= \frac{X_{4.5.5} \cdot X_{4.9.5}}{X_{4.5.5} + X_{4.9.5}} = 298.668 & X_{4.эвл5} &:= \frac{X_{4.8.5} \cdot X_{4.10.5}}{X_{4.8.5} + X_{4.10.5}} = 152.084 \\
 S_{нагр3ав_r} &:= \frac{0.85 \sqrt{(20.7)^2 + 11.2^2} \cdot 10^3}{2} = 1 \times 10^3 \text{ кВт} & I_{4.5} &:= \frac{S_{нагр3ав_r}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 26.25 \text{ А}
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Завитая:

$$K_{4.5} := \frac{X_{4.эвл5}}{X_{4.4.5} + X_{4.эвл5}} = 0.511$$

Ток, протекающий на ПС Завитая:

$$I_{4.1.5} := K_{4.5} \cdot I_{4.5} = 13.403 \text{ А} \quad U_{4.1.5} := I_{4.1.5} \cdot X_{4.4.5} = 1.954 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 7 гармонике: $n_2 := 7$

$$\begin{aligned}
 X_{3ав3ав_r1.7} &:= n_2 \cdot X_{уд240} \cdot 7.69 = 23.416 & X_{C3ав3ав_r1.7} &:= \frac{-7.69}{n_2 \cdot b_{уд240}} = -4.225 \times 10^3 \\
 X_{3ав3ав_r2.7} &:= n_2 \cdot X_{уд240} \cdot 7.69 = 23.416 & X_{C3ав3ав_r2.7} &:= \frac{-7.69}{n_2 \cdot b_{уд240}} = -4.225 \times 10^3 \\
 X_{3ав3ав_r7} &:= \frac{X_{3ав3ав_r1.7} \cdot X_{3ав3ав_r2.7}}{X_{3ав3ав_r1.7} + X_{3ав3ав_r2.7}} = 11.708 & X_{C3ав3ав_r7} &:= \frac{X_{C3ав3ав_r1.7} \cdot X_{C3ав3ав_r2.7}}{X_{C3ав3ав_r1.7} + X_{C3ав3ав_r2.7}} = -2.113 \times 10^3 \\
 X_{4.1.7} &:= n_2 \cdot X_{H10} + n_2 \cdot X_{C10} + \frac{n_2 \cdot X_{H10} \cdot n_2 \cdot X_{C10}}{n_2 \cdot X_{B10}} = 437.5 & X_{4.3.7} &:= n_2 \cdot X_{B10} + n_2 \cdot X_{H10} = 1.015 \times 10^3 \\
 X_{4.2.7} &:= n_2 \cdot X_{B10} + n_2 \cdot X_{C10} + \frac{n_2 \cdot X_{B10} \cdot n_2 \cdot X_{C10}}{n_2 \cdot X_{H10}} = 577.5 & X_{4.4.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{B8} \cdot n_2 \cdot X_{H8}}{n_2 \cdot X_{B8} + n_2 \cdot X_{H8}} = 204.083 \\
 X_{4.5.7} &:= X_{4.2.7} + X_{3ав3ав_r7} + \frac{X_{4.2.7} \cdot X_{3ав3ав_r7}}{X_{4.3.7}} = 595.869 \\
 X_{4.6.7} &:= X_{4.2.7} + X_{4.3.7} + \frac{X_{4.2.7} \cdot X_{4.3.7}}{X_{3ав3ав_r7}} = 5.166 \times 10^4 & X_{4.8.7} &:= \frac{X_{4.1.7} \cdot X_{4.6.7}}{X_{4.1.7} + X_{4.6.7}} = 433.826
 \end{aligned}$$

$$X_{4.7.7} := X_{ЗавЗав_т.7} + X_{4.3.7} + \frac{X_{ЗавЗав_т.7} \cdot X_{4.3.7}}{X_{4.2.7}} = 1.047 \times 10^3 \quad X_{4.9.7} := \frac{X_{4.7.7} \cdot X_{СЗавЗав_т.7}}{X_{4.7.7} + X_{СЗавЗав_т.7}} = 2.077 \times 10^3$$

$$X_{4.10.7} := \frac{X_{4.5.7} \cdot X_{4.9.7}}{X_{4.5.7} + X_{4.9.7}} = 463.021 \quad X_{4.эвл.7} := \frac{X_{4.8.7} \cdot X_{4.10.7}}{X_{4.8.7} + X_{4.10.7}} = 223.974$$

$$S_{нагрЗав_т} := \frac{0.85 \sqrt{(20.7)^2 + 11.2^2} \cdot 10^3}{2} = 1 \times 10^4 \text{ кВт} \quad I_{4.7} := \frac{S_{нагрЗав_т}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 26.25 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Завитая:

$$K_{4.7} := \frac{X_{4.эвл.7}}{X_{4.4.7} + X_{4.эвл.7}} = 0.523$$

Ток, протекающий на ПС Завитая:

$$I_{4.1.7} := K_{4.7} \cdot I_{4.7} = 13.735 \text{ А} \quad U_{4.1.7} := I_{4.1.7} \cdot X_{4.4.7} = 2.803 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэффициент несинусоидальности на:

ПС Свободный

$$K_{УУ} := \frac{\sqrt{U_{1.7.3}^2 + U_{1.7.5}^2 + U_{1.7.7}^2}}{U_H \cdot 10^3} \cdot 100 = 0.205$$

ПС Белогорск (40)

$$K_{УУ} := \frac{\sqrt{U_{1.3.3}^2 + U_{1.3.5}^2 + U_{1.3.7}^2}}{U_H \cdot 10^3} \cdot 100 = 1.973$$

ПС Хвойная

$$X_X := \frac{\frac{X_{В7}}{2} \cdot \frac{X_{Н7}}{2}}{\frac{X_{В7}}{2} + \frac{X_{Н7}}{2}} = 33.333$$

ПС Белогорск (63)

$$K_{УУ} := \frac{\sqrt{U_{2.2.3}^2 + U_{2.2.5}^2 + U_{2.2.7}^2}}{U_H \cdot 10^3} \cdot 100 = 1.309$$

$$I_X := \sqrt{I_{1.14}^2 + I_{2.12}^2} = 7.767 \text{ А}$$

$$I_{X3} := \sqrt{I_{1.14.3}^2 + I_{2.12.3}^2} = 7.769 \text{ А}$$

$$I_{X5} := \sqrt{I_{1.14.5}^2 + I_{2.12.5}^2} = 7.774 \text{ А}$$

$$I_{X7} := \sqrt{I_{1.14.7}^2 + I_{2.12.7}^2} = 7.78 \text{ А}$$

$$U_X := I_X \cdot X_X = 258.912 \text{ В}$$

$$U_{X3} := I_{X3} \cdot X_X = 258.981 \text{ В}$$

$$U_{X5} := I_{X5} \cdot X_X = 259.121 \text{ В}$$

$$U_{X7} := I_{X7} \cdot X_X = 259.329 \text{ В}$$

$$K_{УУ} := \frac{\sqrt{U_{X3}^2 + U_{X5}^2 + U_{X7}^2}}{U_H \cdot 10^3} \cdot 100 = 0.204$$

ПС Завитая

$$I_3 := \sqrt{I_{1.16}^2 + I_{2.14}^2 + I_{4.1}^2} = 30.91 \text{ А}$$

$$I_{3.3} := \sqrt{I_{1.16.3}^2 + I_{2.14.3}^2 + I_{4.1.3}^2} = 30.974 \text{ А}$$

$$I_{3.5} := \sqrt{I_{1.16.5}^2 + I_{2.14.5}^2 + I_{4.1.5}^2} = 31.091 \text{ А}$$

$$I_{3.7} := \sqrt{I_{1.16.7}^2 + I_{2.14.7}^2 + I_{4.1.7}^2} = 31.312 \text{ А}$$

$$U_3 := I_3 \cdot X_{1.11} = 901.158 \text{ В}$$

$$U_{3.3} := I_{3.3} \cdot X_{1.11.3} = 2.709 \times 10^3 \text{ В}$$

$$U_{3.5} := I_{3.5} \cdot X_{1.11.5} = 4.532 \times 10^3 \text{ В}$$

$$U_{3.7} := I_{3.7} \cdot X_{1.11.7} = 6.39 \times 10^3 \text{ В}$$

$$K_{УУ} := \frac{\sqrt{U_{3.3}^2 + U_{3.5}^2 + U_{3.7}^2}}{U_H \cdot 10^3} \cdot 100 = 3.768$$

ПС Амурская

$$I_A := \sqrt{I_{1.9}^2 + I_{2.7}^2 + I_{3.1}^2} = 48.418 \text{ А}$$

$$U_A := I_A \cdot X_{1.1} = 961.546 \text{ В}$$

$$I_{A3} := \sqrt{I_{1.9.3}^2 + I_{2.7.3}^2 + I_{3.1.3}^2} = 43.005 \text{ А} \quad U_{A3} := I_{A3} \cdot X_{1.1.3} = 2.562 \times 10^3 \text{ В}$$

$$I_{A.5} := \sqrt{I_{1.9.5}^2 + I_{2.7.5}^2 + I_{3.1.5}^2} = 43.459 \quad A \quad U_{A.5} := I_{A.5} \cdot X_{1.1.5} = 4.315 \times 10^3 \quad B$$

$$I_{A.7} := \sqrt{I_{1.9.7}^2 + I_{2.7.7}^2 + I_{3.1.7}^2} = 44.2 \quad A \quad U_{A.7} := I_{A.7} \cdot X_{1.1.7} = 6.144 \times 10^3 \quad B$$

$$K_{UN} := \frac{\sqrt{U_{A.3}^2 + U_{A.5}^2 + U_{A.7}^2}}{U_H \cdot 10^3} \cdot 100 = 3.606$$

Приложение Б

Расчёт коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности в программе Mathcad

Индуктивные сопротивления линий

$$X_{\text{уд}240} := 0.435 \text{ Ом/км} \quad X_{\text{уд}300} := 0.429 \text{ Ом/км} \quad X_{\text{уд}400} := 0.420 \text{ Ом/км}$$

$$b_{\text{уд}240} := 2.6 \cdot 10^{-4} \text{ См/км} \quad b_{\text{уд}300} := 2.64 \cdot 10^{-4} \text{ См/км} \quad b_{\text{уд}400} := 2.7 \cdot 10^{-4} \text{ См/км}$$

$$X_{\text{АмурМЧ1}} := X_{\text{уд}240} \cdot 7.72 = 3.358$$

$$X_{\text{АмурМЧ2}} := X_{\text{уд}240} \cdot 7.72 = 3.358$$

$$X_{\text{САмурМЧ1}} := \frac{-7.72}{b_{\text{уд}240}} = -2.969 \times 10^4$$

$$X_{\text{САмурМЧ2}} := \frac{-7.72}{b_{\text{уд}240}} = -2.969 \times 10^4$$

$$X_{\text{АмурМЧ}} := \frac{X_{\text{АмурМЧ1}} \cdot X_{\text{АмурМЧ2}}}{X_{\text{АмурМЧ1}} + X_{\text{АмурМЧ2}} = 1.679$$

$$X_{\text{САмурМЧ}} := \frac{X_{\text{САмурМЧ1}} \cdot X_{\text{САмурМЧ2}}}{X_{\text{САмурМЧ1}} + X_{\text{САмурМЧ2}} = -1.485 \times 10^4$$

$$X_{\text{ЗавЗав}_r1} := X_{\text{уд}240} \cdot 7.69 = 3.345$$

$$X_{\text{ЗавЗав}_r2} := X_{\text{уд}240} \cdot 7.69 = 3.345$$

$$X_{\text{ЗавЗав}_r} := \frac{X_{\text{ЗавЗав}_r1} \cdot X_{\text{ЗавЗав}_r2}}{X_{\text{ЗавЗав}_r1} + X_{\text{ЗавЗав}_r2} = 1.673$$

$$X_{\text{СЗавЗав}_r1} := \frac{-7.69}{b_{\text{уд}240}} = -2.958 \times 10^4$$

$$X_{\text{СЗавЗав}_r2} := \frac{-7.69}{b_{\text{уд}240}} = -2.958 \times 10^4 \quad X_{\text{СЗавЗав}_r} := \frac{X_{\text{СЗавЗав}_r1} \cdot X_{\text{СЗавЗав}_r2}}{X_{\text{СЗавЗав}_r1} + X_{\text{СЗавЗав}_r2} = -1.479 \times 10^4$$

$$X_{\text{АмурОн18}} := X_{\text{уд}240} \cdot (3.46 + 0.04) = 1.522$$

$$X_{\text{АмурОн276}} := X_{\text{уд}300} \cdot 69 = 29.601$$

$$X_{\text{Он18Он285}} := X_{\text{уд}240} \cdot (60.74 + 0.07) = 26.452$$

$$X_{\text{Он276Кор}} := X_{\text{уд}300} \cdot 68.85 = 29.537$$

$$X_{\text{Он285Б}_r} := X_{\text{уд}300} \cdot 8.51 = 3.651$$

$$X_{\text{КорОн190}} := X_{\text{уд}300} \cdot 12.6 = 5.405$$

$$X_{\text{Б}_rXв} := X_{\text{уд}240} \cdot (82.24 + 0.89) = 36.162$$

$$X_{\text{Он190Зав}} := X_{\text{уд}300} \cdot 39.05 = 16.752$$

$$X_{\text{ХвЗав}} := X_{\text{уд}300} \cdot 39.23 = 16.83$$

$$X_{\text{САмурОн276}} := \frac{-69}{b_{\text{уд}300}} = -2.614 \times 10^5$$

$$X_{\text{САмурОн18}} := \frac{-(3.46 + 0.04)}{b_{\text{уд}240}} = -1.346 \times 10^4$$

$$X_{\text{СОн276Кор}} := \frac{-68.85}{b_{\text{уд}300}} = -2.608 \times 10^5$$

$$X_{\text{СОн18Он285}} := \frac{-(60.74 + 0.07)}{b_{\text{уд}240}} = -2.339 \times 10^5$$

$$X_{\text{СКорОн190}} := \frac{-12.6}{b_{\text{уд}300}} = -4.773 \times 10^4$$

$$X_{\text{СОн285Б}_r} := \frac{-8.51}{b_{\text{уд}300}} = -3.223 \times 10^4$$

$$X_{\text{СОн190Зав}} := \frac{-39.05}{b_{\text{уд}300}} = -1.479 \times 10^5$$

$$X_{\text{СБ}_rXв} := \frac{-(82.24 + 0.89)}{b_{\text{уд}240}} = -3.197 \times 10^5$$

$$X_{\text{СХвЗав}} := \frac{-39.23}{b_{\text{уд}300}} = -1.486 \times 10^5$$

Индуктивные сопротивления трансформаторов

$$X_{\text{ТВМЧ1}} := 165 \quad X_{\text{ТВМЧ2}} := 165 \quad X_{\text{ТВЗав}_r1} := 165$$

$$X_{\text{ТВЗав}_r2} := 165 \quad X_{\text{В2}} := 165 \quad X_{\text{В3}} := 165$$

$$X_{\text{ТСМЧ1}} := 0 \quad X_{\text{ТСМЧ2}} := 0 \quad X_{\text{ТСЗав}_r1} := 0$$

$$X_{\text{ТСЗав}_r2} := 0 \quad X_{\text{С2}} := 0 \quad X_{\text{С3}} := 0$$

$$X_{\text{ТНМЧ1}} := 125 \quad X_{\text{ТНМЧ2}} := 125 \quad X_{\text{ТНЗав}_r1} := 125$$

$$X_{\text{ТНЗав}_r2} := 125 \quad X_{\text{Н2}} := 125 \quad X_{\text{Н3}} := 125$$

$$X_{\text{В9}} := \frac{X_{\text{ТВМЧ1}}}{2} = 82.5 \quad X_{\text{В10}} := \frac{X_{\text{ТВЗав}_r1}}{2} = 82.5$$

$$X_{\text{В4}} := 165 \quad X_{\text{В7}} := 200$$

$$X_{\text{С9}} := \frac{X_{\text{ТСМЧ1}}}{2} = 0 \quad X_{\text{С10}} := \frac{X_{\text{ТСЗав}_r1}}{2} = 0$$

$$X_{\text{С4}} := 0 \quad X_{\text{С7}} := 0$$

$$\begin{aligned}
 X_{Н9} &:= \frac{X_{ТНМ.ч1}}{2} = 62.5 & X_{Н10} &:= \frac{X_{ТНЗав_г1}}{2} = 62.5 & X_{Н4} &:= 125 & X_{Н7} &:= 100 \\
 X_{ТВАмур1} &:= 61.1 & X_{ТВАмур2} &:= 61.1 & X_{ТВБел63_1} &:= 104 & X_{ТВБел63_2} &:= 104 \\
 X_{ТСАмур1} &:= 0 & X_{ТСАмур2} &:= 0 & X_{ТСБел63_1} &:= 0 & X_{ТСБел63_2} &:= 0 \\
 X_{ТНАмур1} &:= 113.5 & X_{ТНАмур2} &:= 113.5 & X_{ТНБел63_1} &:= 195.6 & X_{ТНБел63_2} &:= 195.6 \\
 X_{В1} &:= \frac{X_{ТВАмур1}}{2} = 30.55 & X_{В6} &:= \frac{X_{ТВБел63_1}}{2} = 52 & X_{ТВЗав_1} &:= 275 & X_{ТВЗав_2} &:= 275 \\
 & & & & X_{ТСЗав_1} &:= 0 & X_{ТСЗав_2} &:= 0 \\
 X_{С1} &:= \frac{X_{ТСАмур1}}{2} = 0 & X_{С6} &:= \frac{X_{ТСБел63_1}}{2} = 0 & X_{ТНЗав_1} &:= 74 & X_{ТНЗав_2} &:= 74 \\
 X_{Н1} &:= \frac{X_{ТНАмур1}}{2} = 56.75 & X_{Н6} &:= \frac{X_{ТНБел63_1}}{2} = 97.8 & X_{ТВБел40_1} &:= 165 & X_{ТВБел40_2} &:= 165 \\
 & & & & X_{ТСБел40_1} &:= 0 & X_{ТСБел40_2} &:= 0 \\
 X_{В5} &:= \frac{X_{ТВБел40_1}}{2} = 82.5 & X_{В8} &:= \frac{X_{ТВЗав_1}}{2} = 137.5 & X_{ТНБел40_1} &:= 125 & X_{ТНБел40_2} &:= 125 \\
 X_{С5} &:= \frac{X_{ТСБел40_1}}{2} = 0 & X_{С8} &:= \frac{X_{ТСЗав_1}}{2} = 0 \\
 X_{Н5} &:= \frac{X_{ТНБел40_1}}{2} = 62.5 & X_{Н8} &:= \frac{X_{ТНЗав_1}}{2} = 37
 \end{aligned}$$

1 линия ПС Амурская-ПС Завитая

$$\begin{aligned}
 X_{1.1} &:= \frac{X_{В1} \cdot X_{Н1}}{X_{В1} + X_{Н1}} = 19.859 & X_{1.4} &:= X_{В3} + X_{С3} + \frac{X_{В3} \cdot X_{С3}}{X_{ТЗ}} = 165 \\
 X_{1.2} &:= \frac{X_{В2} \cdot X_{Н2}}{X_{В2} + X_{Н2}} = 71.121 & X_{1.5} &:= X_{В3} + X_{Н3} = 290 \\
 X_{1.3} &:= \frac{X_{В5} \cdot X_{Н5}}{X_{В5} + X_{Н5}} = 35.56 & X_{1.6} &:= X_{Н3} + X_{С3} + \frac{X_{Н3} \cdot X_{С3}}{X_{В3}} = 125 \\
 X_{1.10} &:= \frac{X_{В7} \cdot X_{Н7}}{X_{В7} + X_{Н7}} = 66.667 & X_{1.7} &:= X_{В3} + X_{С3} + \frac{X_{В3} \cdot X_{С3}}{X_{Н3}} = 165 \\
 X_{1.11} &:= \frac{X_{В8} \cdot X_{Н8}}{X_{В8} + X_{Н8}} = 29.155 & X_{1.8} &:= X_{Н3} + X_{С3} + \frac{X_{Н3} \cdot X_{С3}}{X_{В3}} = 125 \\
 X_{1.15} &:= X_{Б_тХв} + X_{1.7} + \frac{X_{Б_тХв} \cdot X_{1.7}}{X_{1.0}} = 221.736 & X_{1.9} &:= X_{В3} + X_{Н3} = 290 \\
 X_{1.16} &:= X_{1.7} + X_{1.9} + \frac{X_{1.7} \cdot X_{1.9}}{X_{Б_тХв}} = 1.778 \times 10^3 & X_{1.17} &:= X_{Б_тХв} + X_{1.9} + \frac{X_{Б_тХв} \cdot X_{1.9}}{X_{1.7}} = 389.718 \\
 & & X_{1.18} &:= \frac{X_{СБ_тХв} \cdot X_{1.10}}{X_{СБ_тХв} + X_{1.10}} = 66.681
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{1.25} &:= \frac{X_{1.8} \cdot X_{1.16}}{X_{1.8} + X_{1.16}} = 116.79 & X_{1.26} &:= \frac{X_{1.17} \cdot X_{1.18}}{X_{1.17} + X_{1.18}} = 56.938 \\
 X_{1.29} &:= X_{X_{\text{ка3на}}} + X_{1.15} + \frac{X_{X_{\text{ка3на}}} \cdot X_{1.15}}{X_{1.26}} = 304.106 & X_{1.30} &:= X_{1.15} + X_{1.26} + \frac{X_{1.15} \cdot X_{1.26}}{X_{X_{\text{ка3на}}}} = 1.029 \times 10^3 \\
 X_{1.31} &:= X_{X_{\text{ка3на}}} + X_{1.26} + \frac{X_{X_{\text{ка3на}}} \cdot X_{1.26}}{X_{1.15}} = 78.09 \\
 X_{1.35} &:= \frac{X_{1.25} \cdot X_{1.30}}{X_{1.25} + X_{1.30}} = 104.884 & X_{1.12} &:= \frac{X_{C_{\text{АмупОм18}}} \cdot X_{1.2}}{X_{C_{\text{АмупОм18}}} + X_{1.2}} = 71.498 \\
 X_{1.36} &:= \frac{X_{1.31} \cdot X_{C_{X_{\text{ка3на}}}}}{X_{1.31} + X_{C_{X_{\text{ка3на}}}}} = 78.131 & X_{1.13} &:= \frac{X_{C_{\text{Ом18Ом285}}} \cdot X_{1.3}}{X_{C_{\text{Ом18Ом285}}} + X_{1.3}} = 35.566 \\
 X_{1.39} &:= \frac{X_{1.29} \cdot X_{1.36}}{X_{1.29} + X_{1.36}} = 62.161 & X_{1.14} &:= \frac{X_{C_{\text{Ом285Б}_\tau}} \cdot X_{1.5}}{X_{C_{\text{Ом285Б}_\tau}} + X_{1.5}} = 292.633 \\
 X_{1.39\text{II}} &:= \frac{X_{1.39} \cdot X_{1.35}}{X_{1.39} + X_{1.35}} = 39.029 & X_{1.19} &:= X_{\text{АмупОм18}} + X_{\text{Ом18Ом285}} + \frac{X_{\text{АмупОм18}} \cdot X_{\text{Ом18Ом285}}}{X_{1.12}} = 28.538 \\
 X_{1.20} &:= X_{\text{АмупОм18}} + X_{1.12} + \frac{X_{\text{АмупОм18}} \cdot X_{1.12}}{X_{\text{Ом18Ом285}}} = 77.136 \\
 X_{1.21} &:= X_{\text{Ом18Ом285}} + X_{1.12} + \frac{X_{\text{Ом18Ом285}} \cdot X_{1.12}}{X_{\text{АмупОм18}}} = 1.34 \times 10^3 \\
 X_{1.22} &:= X_{\text{Ом285Б}_\tau} + X_{1.4} + \frac{X_{\text{Ом285Б}_\tau} \cdot X_{1.4}}{X_{1.14}} = 170.709 \\
 X_{1.23} &:= X_{\text{Ом285Б}_\tau} + X_{1.14} + \frac{X_{\text{Ом285Б}_\tau} \cdot X_{1.14}}{X_{1.4}} = 302.758 \\
 X_{1.24} &:= X_{1.4} + X_{1.14} + \frac{X_{1.4} \cdot X_{1.14}}{X_{\text{Ом285Б}_\tau}} = 1.368 \times 10^4 \\
 X_{1.27} &:= \frac{X_{1.21} \cdot X_{1.13} \cdot X_{1.23}}{X_{1.21} \cdot X_{1.13} + X_{1.21} \cdot X_{1.23} + X_{1.13} \cdot X_{1.23}} = 31.089 & X_{1.28} &:= \frac{X_{1.24} \cdot X_{1.6}}{X_{1.24} + X_{1.6}} = 123.868 \\
 X_{1.33} &:= X_{1.19} + X_{1.27} + \frac{X_{1.19} \cdot X_{1.27}}{X_{1.22}} = 64.824 & X_{1.32} &:= X_{1.19} + X_{1.22} + \frac{X_{1.19} \cdot X_{1.22}}{X_{1.27}} = 355.952 \\
 X_{1.34} &:= X_{1.22} + X_{1.27} + \frac{X_{1.22} \cdot X_{1.27}}{X_{1.19}} = 387.764 & X_{1.37} &:= \frac{X_{1.20} \cdot X_{1.33}}{X_{1.20} + X_{1.33}} = 35.223 \\
 X_{1.40} &:= \frac{X_{1.32} \cdot X_{1.38}}{X_{1.32} + X_{1.38}} = 74.287 & X_{1.38\text{I}} &:= \frac{X_{1.40} \cdot X_{1.37}}{X_{1.40} + X_{1.37}} = 23.894 \\
 i &:= \sqrt{-1} & a &:= e^{i120\text{deg}} = -0.5 + 0.866i & S_{\text{нагрБел}_\tau} &:= 47.4 + 28.4 \cdot i = 47.4 + 28.4 \text{MBA} \\
 U_{\text{H}} &:= 220 \text{кВ}
 \end{aligned}$$

$$I_I := \frac{S_{\text{нагрБел}_T}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 0.062 + 0.037i \text{ кА} \quad I_{II} := I_I = 0.062 + 0.037i \text{ кА}$$

$$I_2 := \frac{1}{3} \cdot (I_I + a^2 \cdot I_{II}) = 0.021 - 0.012i \text{ кА}$$

$$U_{2.1\text{Ам}} := I_{2.1\text{Ам}} \cdot X_{1.\text{эквI}} = 577.48 \text{ В}$$

$$U_{2.13\text{ав}} := I_{2.13\text{ав}} \cdot X_{1.\text{эквII}} = 943.287 \text{ В}$$

$$I_{2.1\text{Ам}} := \sqrt{(\text{Re}(I_2))^2 + (\text{Im}(I_2))^2} \cdot 10^3 = 24.169 \text{ А}$$

$$I_{2.13\text{ав}} := \sqrt{(\text{Re}(I_2))^2 + (\text{Im}(I_2))^2} \cdot 10^3 = 24.169 \text{ А}$$

2 линия ПС Амурская-ПС Завитая

$$X_{2.1} := \frac{X_{B1} \cdot X_{H1}}{X_{R1} + X_{H1}} = 19.859$$

$$X_{2.2} := \frac{X_{B6} \cdot X_{H6}}{X_{B6} + X_{H6}} = 33.949$$

$$X_{2.9} := \frac{X_{B7} \cdot X_{H7}}{X_{R7} + X_{H7}} = 66.667$$

$$X_{2.10} := \frac{X_{B8} \cdot X_{H8}}{X_{R8} + X_{H8}} = 29.155$$

$$X_{2.11} := \frac{X_{C\text{АмурОн}276} \cdot X_{2.2}}{X_{C\text{АмурОн}276} + X_{2.2}} = 33.954$$

$$X_{2.12} := \frac{X_{C\text{Он}276\text{Коп}} \cdot X_{2.4}}{X_{C\text{Он}276\text{Коп}} + X_{2.4}} = 290.323$$

$$X_{2.13} := \frac{X_{C\text{КопОн}190} \cdot X_{2.9}}{X_{C\text{КопОн}190} + X_{2.9}} = 66.76$$

$$X_{2.3} := X_{B4} + X_{C4} + \frac{X_{B4} \cdot X_{C4}}{X_{H3}} = 165$$

$$X_{2.4} := X_{B4} + X_{H4} = 290$$

$$X_{2.5} := X_{H4} + X_{C4} + \frac{X_{H4} \cdot X_{C4}}{X_{B4}} = 125$$

$$X_{2.6} := X_{B4} + X_{C4} + \frac{X_{B4} \cdot X_{C4}}{X_{H4}} = 165$$

$$X_{2.7} := X_{H4} + X_{C4} + \frac{X_{H4} \cdot X_{C4}}{X_{B4}} = 125$$

$$X_{2.8} := X_{B4} + X_{H4} = 290$$

$$X_{2.14} := X_{\text{Он}276\text{Коп}} + X_{2.3} + \frac{X_{\text{Он}276\text{Коп}} \cdot X_{2.3}}{X_{2.12}} = 211.323$$

$$X_{2.15} := X_{\text{Он}276\text{Коп}} + X_{2.12} + \frac{X_{\text{Он}276\text{Коп}} \cdot X_{2.12}}{X_{2.3}} = 371.83$$

$$X_{2.16} := X_{2.3} + X_{2.12} + \frac{X_{2.3} \cdot X_{2.12}}{X_{\text{Он}276\text{Коп}}} = 2.077 \times 10^3$$

$$X_{2.18} := X_{2.6} + X_{2.8} + \frac{X_{2.6} \cdot X_{2.8}}{X_{\text{КопОн}190}} = 9.307 \times 10^3$$

$$X_{2.17} := X_{2.6} + X_{\text{КопОн}190} + \frac{X_{2.6} \cdot X_{\text{КопОн}190}}{X_{2.8}} = 173.481$$

$$X_{2.19} := X_{\text{КопОн}190} + X_{2.8} + \frac{X_{\text{КопОн}190} \cdot X_{2.8}}{X_{2.6}} = 304.906$$

$$X_{2.20} := \frac{X_{2.11} \cdot X_{2.15}}{X_{2.11} + X_{2.15}} = 31.113$$

$$X_{2.24} := X_{\text{АмурОн}276} + X_{2.14} + \frac{X_{\text{АмурОн}276} \cdot X_{2.14}}{X_{2.20}} = 441.98$$

$$X_{2.21} := \frac{X_{2.16} \cdot X_{2.5}}{X_{2.16} + X_{2.5}} = 117.905$$

$$X_{2.25} := X_{\text{АмурОн}276} + X_{2.20} + \frac{X_{\text{АмурОн}276} \cdot X_{2.20}}{X_{2.14}} = 65.072$$

$$X_{2.22} := \frac{X_{2.7} \cdot X_{2.18}}{X_{2.7} + X_{2.18}} = 123.343$$

$$X_{2.26} := X_{2.14} + X_{2.20} + \frac{X_{2.14} \cdot X_{2.20}}{X_{\text{АмурОн}276}} = 464.551$$

$$X_{2.23} := \frac{X_{2.19} \cdot X_{2.9}}{X_{2.19} + X_{2.9}} = 54.705$$

$$X_{2.27} := X_{2.16} + X_{\text{Он}1903\text{ав}} + \frac{X_{2.16} \cdot X_{\text{Он}1903\text{ав}}}{X_{2.23}} = 2.73 \times 10^3$$

$$X_{2.28} := X_{2.16} + X_{2.22} + \frac{X_{2.16} \cdot X_{2.22}}{X_{\text{Он}1903\text{ав}}} = 8.983 \times 10^3$$

$$X_{2.30} := \frac{X_{2.26} \cdot X_{2.21}}{X_{2.26} + X_{2.21}} = 94.038$$

$$X_{2.29} := X_{2.23} + X_{\text{Он}1903\text{ав}} + \frac{X_{2.23} \cdot X_{\text{Он}1903\text{ав}}}{X_{2.16}} = 71.899$$

$$X_{2.31} := \frac{X_{2.20} \cdot X_{2.28}}{X_{2.20} + X_{2.28}} = 31.005$$

$$X_{2.32} := \frac{X_{2.29} \cdot X_{COm1903ав}}{X_{2.29} + X_{COm1903ав}} = 71.934$$

$$X_{2.33} := \frac{X_{2.24} \cdot X_{2.30}}{X_{2.24} + X_{2.30}} = 77.54$$

$$X_{2.34} := \frac{X_{2.27} \cdot X_{2.31}}{X_{2.27} + X_{2.31}} = 30.657$$

$$X_{2.эквIII} := \frac{X_{2.33} \cdot X_{2.25}}{X_{2.33} + X_{2.25}} = 35.38$$

$$X_{2.эквIV} := \frac{X_{2.34} \cdot X_{2.32}}{X_{2.34} + X_{2.32}} = 21.496$$

$$S_{нагрКор_т} := 21.2 + 6.8 \cdot i = 21.2 + 6.8i \text{ МВА}$$

$$I_{1.2} := \frac{\frac{S_{нагрКор_т}}{2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 0.028 + 8.923i \times 10^{-3} \text{ кА} \quad I_{П.2} := I_{1.2} = 0.028 + 8.923i \times 10^{-3} \text{ кА}$$

$$I_{2.2} := \frac{1}{3} \cdot (I_{1.2} + a^2 \cdot I_{П.2}) = 7.212 \times 10^{-3} - 6.543i \times 10^{-3} \text{ кА}$$

$$I_{2.2Ам} := \sqrt{(\operatorname{Re}(I_{2.2}))^2 + (\operatorname{Im}(I_{2.2}))^2} \cdot 10^3 = 9.738 \text{ А} \quad U_{2.2Ам} := I_{2.2Ам} \cdot X_{2.эквIII} = 344.531 \text{ В}$$

$$I_{2.23ав} := \sqrt{(\operatorname{Re}(I_{2.2}))^2 + (\operatorname{Im}(I_{2.2}))^2} \cdot 10^3 = 9.738 \text{ А} \quad U_{2.23ав} := I_{2.23ав} \cdot X_{2.эквIV} = 209.325 \text{ В}$$

Преобразование линии ПС Амурская-ПС М.Чесноковская/т

$$X_{3.1} := X_{H9} + X_{C9} + \frac{X_{H9} \cdot X_{C9}}{X_{P0}} = 62.5$$

$$X_{3.3} := X_{B9} + X_{H9} = 145$$

$$X_{3.2} := X_{B9} + X_{C9} + \frac{X_{B9} \cdot X_{C9}}{X_{H9}} = 82.5$$

$$X_{3.5} := X_{3.2} + X_{АмурМ.Ч} + \frac{X_{3.2} \cdot X_{АмурМ.Ч}}{X_{3.3}} = 85.134$$

$$X_{3.4} := \frac{X_{B1} \cdot X_{H1}}{X_{B1} + X_{H1}} = 19.859$$

$$X_{3.6} := X_{3.2} + X_{3.3} + \frac{X_{3.2} \cdot X_{3.3}}{X_{АмурМ.Ч}} = 7.352 \times 10^3$$

$$X_{3.8} := \frac{X_{3.1} \cdot X_{3.6}}{X_{3.1} + X_{3.6}} = 61.973$$

$$X_{3.7} := X_{АмурМ.Ч} + X_{3.3} + \frac{X_{АмурМ.Ч} \cdot X_{3.3}}{X_{3.2}} = 149.63$$

$$X_{3.9} := \frac{X_{3.7} \cdot X_{САмурМ.Ч}}{X_{3.7} + X_{САмурМ.Ч}} = 151.154$$

$$X_{3.10} := \frac{X_{3.5} \cdot X_{3.9}}{X_{3.5} + X_{3.9}} = 54.461 \quad X_{3.эквI} := \frac{X_{3.8} \cdot X_{3.10}}{X_{3.8} + X_{3.10}} = 28.987$$

$$S_{нагрМ.Ч_т} := 48.5 + 20.1 \cdot i = 48.5 + 20.1i \text{ МВА}$$

$$I_{1.3} := \frac{\frac{S_{нагрМ.Ч_т}}{2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 0.064 + 0.026i \text{ кА}$$

$$I_{П.3} := I_{1.3} = 0.064 + 0.026i \text{ кА} \quad I_{2.3} := \frac{1}{3} \cdot (I_{1.3} + a^2 \cdot I_{П.3}) = 0.018 - 0.014i \text{ кА}$$

$$I_{2.3Ам} := \sqrt{(\operatorname{Re}(I_{2.3}))^2 + (\operatorname{Im}(I_{2.3}))^2} \cdot 10^3 = 22.963 \text{ А} \quad U_{2.3Ам} := I_{2.3Ам} \cdot X_{3.эквI} = 665.629 \text{ В}$$

Преобразование линии ПС Амурская-ПС Завитая/т

$$\begin{aligned}
 X_{4.1} &:= X_{Н10} + X_{C10} + \frac{X_{Н10} \cdot X_{C10}}{X_{B10}} = 62.5 & X_{4.3} &:= X_{B10} + X_{Н10} = 145 \\
 X_{4.2} &:= X_{B10} + X_{C10} + \frac{X_{B10} \cdot X_{C10}}{X_{Н10}} = 82.5 & X_{4.4} &:= \frac{X_{B8} \cdot X_{Н8}}{X_{B8} + X_{Н8}} = 29.155 \\
 X_{4.5} &:= X_{4.2} + X_{ЗавЗав_Г} + \frac{X_{4.2} \cdot X_{ЗавЗав_Г}}{X_{4.3}} = 85.124 & X_{4.6} &:= X_{4.2} + X_{4.3} + \frac{X_{4.2} \cdot X_{4.3}}{X_{ЗавЗав_Г}} = 7.38 \times 10^3 \\
 X_{4.7} &:= X_{ЗавЗав_Г} + X_{4.3} + \frac{X_{ЗавЗав_Г} \cdot X_{4.3}}{X_{4.2}} = 149.612 & X_{4.8} &:= \frac{X_{4.1} \cdot X_{4.6}}{X_{4.1} + X_{4.6}} = 61.975 \\
 X_{4.9} &:= \frac{X_{4.7} \cdot X_{CЗавЗав_Г}}{X_{4.7} + X_{CЗавЗав_Г}} = 151.141 & X_{4.10} &:= \frac{X_{4.5} \cdot X_{4.9}}{X_{4.5} + X_{4.9}} = 54.455 & X_{4.экв1} &:= \frac{X_{4.8} \cdot X_{4.10}}{X_{4.8} + X_{4.10}} = 28.986
 \end{aligned}$$

$$S_{нагрЗав_Г} := 20.7 + 11.2 \cdot i = 20.7 + 11.2 \text{ МВА}$$

$$I_{Г4} := \frac{S_{нагрЗав_Г}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 0.027 + 0.015i \text{ кА} \quad I_{П4} := I_{Г4} = 0.027 + 0.015i \text{ кА}$$

$$I_{2.4} := \frac{1}{a} \cdot (I_{Г4} + a^2 \cdot I_{П4}) = 8.769 \times 10^{-3} - 5.392i \times 10^{-3} \text{ кА}$$

$$I_{2.4Зав} := \sqrt{(\text{Re}(I_{2.4}))^2 + (\text{Im}(I_{2.4}))^2} \cdot 10^3 = 10.294 \text{ А} \quad U_{2.4Зав} := I_{2.4Зав} \cdot X_{3.экв1} = 298.401 \text{ В}$$

Проведём расчёт суммарных значение токов обратной по следовательности и коэффициент несимметрии напряжений по обратной по следовательности

$$I_{2\Sigma Ам} := \sqrt{I_{2.1Ам}^2 + I_{2.2Ам}^2 + I_{2.3Ам}^2} = 34.731 \text{ А} \quad I_{2\Sigma Зав} := \sqrt{I_{2.1Зав}^2 + I_{2.2Зав}^2 + I_{2.4Зав}^2} = 28.016$$

$$U_{2\Sigma Ам} := I_{2\Sigma Ам} \cdot (X_{B1} + X_{Н1}) = 3.032 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2\Sigma Зав} := I_{2\Sigma Зав} \cdot (X_{B10} + X_{Н10}) = 4.062 \times 10^3 \text{ В}$$

$$K_{2U Ам} := \frac{U_{2\Sigma Ам}}{U_H \cdot 10^3} \cdot 100 = 1.378$$

$$K_{2U Зав} := \frac{U_{2\Sigma Зав}}{U_H \cdot 10^3} \cdot 100 = 1.847$$

Приложение В

Расчёт и выбор технического средства на ПС Амурская и ПС Завитая в программе Mathcad

1. Исходные данные

$$S_{кз} := \sqrt{3} \cdot 220 \cdot \sqrt{26^2 + 10^2} = 1.061 \times 10^4 \text{ МВА} \quad U_{н.к.} := 220 \text{ кВ} \quad U_{ш} := 220 \text{ кВ}$$

$$I_{A3} := 43 \text{ А} \quad I_{A5} := 43.455 \text{ А} \quad I_{A7} := 44.2 \text{ А} \quad I_{33} := 30.974 \text{ А} \quad I_{35} := 31.091 \text{ А} \quad I_{37} := 31.312 \text{ А}$$

2. Выбор БК Ориентировочная мощность батарей конденсаторов фильтров

$$Q_{03} := \sqrt{3} \cdot 1.3 \cdot U_{ш} \cdot 10^{-3} \cdot I_{A3} = 21.301 \text{ МВАр} \quad Q_3 := 18 \text{ МВАр}$$

$$Q_{05} := \sqrt{3} \cdot 1.3 \cdot U_{ш} \cdot 10^{-3} \cdot I_{A5} = 21.528 \text{ МВАр} \quad Q_5 := 18 \text{ МВАр}$$

$$Q_{07} := \sqrt{3} \cdot 1.3 \cdot U_{ш} \cdot 10^{-3} \cdot I_{A7} = 21.895 \text{ МВАр} \quad Q_7 := 18 \text{ МВАр}$$

Коэффициент эффективности поглощения гармоник для принятой батареи конденсаторов

$$K_p := \frac{Q_3}{S_{кз}} = 1.696 \times 10^{-3} \quad K_p := \frac{Q_5}{S_{кз}} = 1.696 \times 10^{-3} \quad K_p := \frac{Q_7}{S_{кз}} = 1.696 \times 10^{-3}$$

Коэффициент, характеризующий запас по напряжению конденсаторов

$$K_U := \frac{U_{ш}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.к.}} = 0.577 \quad a_p := \frac{3^2}{3^2 - 1} = 1.125$$

Проверка БК на отсутствие перенапряжения

$$K_U \cdot a_n = 0.65 \quad K_U \cdot a_p < 1$$

3. Выбор реактора

Определение емкостного сопротивления реактора из условия резонанса

$$X_{c3} := \frac{(U_{н.к.})^2 \cdot 3}{Q_3 \cdot 10^2} = 80.667 \text{ Ом} \quad X_{c5} := \frac{U_{н.к.}^2 \cdot 3}{Q_5 \cdot 10^2} = 80.667 \text{ Ом} \quad X_{c7} := \frac{U_{н.к.}^2 \cdot 3}{(Q_7) \cdot 10^2} = 80.667 \text{ Ом}$$

Определение индуктивного сопротивления реактора из условия резонанса

$$X_{p3} := \frac{X_{c3}}{3^2} = 8.963 \quad X_{p5} := \frac{X_{c5}}{5^2} = 3.227 \quad X_{p7} := \frac{X_{c7}}{7^2} = 1.646$$

$$X_3 := X_{p3} + X_{c3} = 89.63 \quad X_5 := X_{p5} + X_{c5} = 83.893 \quad X_7 := X_{p7} + X_{c7} = 82.313$$

ПС Завитая

$$Q_{03} := \sqrt{3} \cdot 1.3 \cdot U_{ш} \cdot I_{33} \cdot 10^{-3} = 15.343 \text{ МВАр} \quad Q_{33} := 15 \text{ МВАр}$$

$$Q_{05} := \sqrt{3} \cdot 1.3 \cdot U_{ш} \cdot I_{35} \cdot 10^{-3} = 15.401 \text{ МВАр} \quad Q_{35} := 15 \text{ МВАр}$$

$$Q_{07} := \sqrt{3} \cdot 1.3 \cdot U_{ш} \cdot I_{37} \cdot 10^{-3} = 15.511 \text{ МВАр} \quad Q_{37} := 15 \text{ МВАр}$$

$$K_p := \frac{Q_{33}}{S_{кз}} = 1.413 \times 10^{-3} \quad K_p := \frac{Q_{35}}{S_{кз}} = 1.413 \times 10^{-3} \quad K_p := \frac{Q_{37}}{S_{кз}} = 1.413 \times 10^{-3}$$

$$X_{c33} := \frac{U_{н.к.}^2 \cdot 3}{Q_{33} \cdot 10^2} = 96.8 \text{ Ом} \quad X_{c35} := \frac{U_{н.к.}^2 \cdot 3}{Q_{35} \cdot 10^2} = 96.8 \text{ Ом} \quad X_{c37} := \frac{U_{н.к.}^2 \cdot 3}{Q_{37} \cdot 10^2} = 96.8 \text{ Ом}$$

$$X_{p33} := \frac{X_{c33}}{3^2} = 10.756 \text{ Ом} \quad X_{p35} := \frac{X_{c33}}{5^2} = 3.872 \text{ Ом} \quad X_{p37} := \frac{X_{c33}}{7^2} = 1.976 \text{ Ом}$$

$$X_{33} := X_{p33} + X_{c33} = 107.556 \text{ Ом} \quad X_{35} := X_{p35} + X_{c35} = 100.672 \text{ Ом} \quad X_{37} := X_{p37} + X_{c37} = 98.776 \text{ Ом}$$

Приложение Г

Расчёт коэффициентов гармонических составляющих напряжений участка
существующей сети с фильтром в программе Mathcad

Индуктивные сопротивления линий

$$\begin{aligned}
 X_{\text{вн}240} &:= 0.435 \text{ Ом/км} & X_{\text{вн}300} &:= 0.429 \text{ Ом/км} & X_{\text{уд}400} &:= 0.420 \text{ Ом/км} \\
 b_{\text{уд}240} &:= 2.6 \cdot 10^{-4} \text{ См/км} & b_{\text{уд}300} &:= 2.64 \cdot 10^{-4} \text{ См/км} & b_{\text{уд}400} &:= 2.7 \cdot 10^{-4} \text{ См/км} \\
 X_{\text{АмурМ.Ч.1}} &:= X_{\text{уд}240} \cdot 7.72 = 3.358 & X_{\text{СОп}285Б_г} &:= \frac{-8.51}{b_{\text{уд}300}} = -3.223 \times 10^4 \\
 X_{\text{АмурМ.Ч.2}} &:= X_{\text{уд}240} \cdot 7.72 = 3.358 & X_{\text{СБ}_гХв} &:= \frac{-(82.24 + 0.89)}{b_{\text{уд}240}} = -3.197 \times 10^5 \\
 X_{\text{АмурМ.Ч.}} &:= \frac{X_{\text{АмурМ.Ч.1}} \cdot X_{\text{АмурМ.Ч.2}}}{X_{\text{АмурМ.Ч.1}} + X_{\text{АмурМ.Ч.2}} = 1.679 & X_{\text{СХв}3ав} &:= \frac{-39.23}{b_{\text{уд}300}} = -1.486 \times 10^5 \\
 X_{3ав3ав_г1} &:= X_{\text{уд}240} \cdot 7.69 = 3.345 & X_{\text{СОп}180п285} &:= \frac{-(60.74 + 0.07)}{b_{\text{уд}240}} = -2.339 \times 10^5 \\
 X_{3ав3ав_г2} &:= X_{\text{уд}240} \cdot 7.69 = 3.345 & X_{\text{САмурОп}18} &:= \frac{-(3.46 + 0.04)}{b_{\text{уд}240}} = -1.346 \times 10^4 \\
 X_{3ав3ав_г} &:= \frac{X_{3ав3ав_г1} \cdot X_{3ав3ав_г2}}{X_{3ав3ав_г1} + X_{3ав3ав_г2}} = 1.673 & X_{\text{САмурМ.Ч.1}} &:= \frac{-7.72}{b_{\text{уд}240}} = -2.969 \times 10^4 \\
 X_{\text{АмурОп}18} &:= X_{\text{уд}240} \cdot (3.46 + 0.04) = 1.522 & X_{\text{САмурМ.Ч.2}} &:= \frac{-7.72}{b_{\text{уд}240}} = -2.969 \times 10^4 \\
 X_{\text{Оп}180п285} &:= X_{\text{уд}240} \cdot (60.74 + 0.07) = 26.452 & X_{\text{САмурМ.Ч.}} &:= \frac{X_{\text{САмурМ.Ч.1}} \cdot X_{\text{САмурМ.Ч.2}}}{X_{\text{САмурМ.Ч.1}} + X_{\text{САмурМ.Ч.2}} = -1.485 \times 10^4 \\
 X_{\text{Оп}285Б_г} &:= X_{\text{уд}300} \cdot 8.51 = 3.651 & X_{\text{С}3ав3ав_г1} &:= \frac{-7.69}{b_{\text{уд}240}} = -2.958 \times 10^4 \\
 X_{Б_гХв} &:= X_{\text{уд}240} \cdot (82.24 + 0.89) = 36.162 & X_{\text{С}3ав3ав_г2} &:= \frac{-7.69}{b_{\text{вн}240}} = -2.958 \times 10^4 \\
 X_{Хв3ав} &:= X_{\text{вн}300} \cdot 39.23 = 16.83 & X_{\text{С}3ав3ав_г} &:= \frac{X_{\text{С}3ав3ав_г1} \cdot X_{\text{С}3ав3ав_г2}}{X_{\text{С}3ав3ав_г1} + X_{\text{С}3ав3ав_г2}} = -1.479 \times 10^4 \\
 X_{\text{АмурОп}276} &:= X_{\text{уд}300} \cdot 69 = 29.601 & X_{\text{САмурОп}276} &:= \frac{-69}{b_{\text{уд}300}} = -2.614 \times 10^5 \\
 X_{\text{Оп}276Кор} &:= X_{\text{уд}300} \cdot 68.85 = 29.537 & & & & \\
 X_{\text{КорОп}190} &:= X_{\text{уд}300} \cdot 12.6 = 5.405 & & & & \\
 X_{\text{Оп}1903ав} &:= X_{\text{уд}300} \cdot 39.05 = 16.752 & & & & \\
 X_{\text{СКорОп}190} &:= \frac{-12.6}{b_{\text{уд}300}} = -4.773 \times 10^4 & & & & \\
 X_{\text{СОп}1903ав} &:= \frac{-39.05}{b_{\text{уд}300}} = -1.479 \times 10^5 & & & & \\
 X_{\text{СОп}276Кор} &:= \frac{-68.85}{b_{\text{уд}300}} = -2.608 \times 10^5 & & & &
 \end{aligned}$$

Индуктивные сопротивления трансформаторов

$$\begin{aligned}
 X_{\text{ТВМ.Ч.1}} &:= 165 & X_{\text{ТВ}3ав_г1} &:= 165 & X_{\text{ТВМ.Ч.2}} &:= 165 & X_{\text{ТВ}3ав_г2} &:= 165 & X_{\text{ТВАмур}1} &:= 61.1 & X_{\text{ТВАмур}2} &:= 61.1 \\
 X_{\text{ТСМ.Ч.1}} &:= 0 & X_{\text{ТС}3ав_г1} &:= 0 & X_{\text{ТСМ.Ч.2}} &:= 0 & X_{\text{ТС}3ав_г2} &:= 0 & X_{\text{ТСАмур}1} &:= 0 & X_{\text{ТСАмур}2} &:= 0 \\
 X_{\text{ТНМ.Ч.1}} &:= 125 & X_{\text{ТН}3ав_г1} &:= 125 & X_{\text{ТНМ.Ч.2}} &:= 125 & X_{\text{ТН}3ав_г2} &:= 125 & X_{\text{ТНАмур}1} &:= 113.5 & X_{\text{ТНАмур}2} &:= 113.5 \\
 X_{Б9} &:= \frac{X_{\text{ТВМ.Ч.1}}}{2} = 82.5 & X_{Б10} &:= \frac{X_{\text{ТВ}3ав_г1}}{2} = 82.5 & X_{Р4} &:= 165 & X_{Р7} &:= 200 & X_{\text{ТРБел}63_1} &:= 104 \\
 & & & & X_{С4} &:= 0 & X_{С7} &:= 0 & X_{\text{ТСБел}63_1} &:= 0 \\
 X_{С9} &:= \frac{X_{\text{ТСМ.Ч.1}}}{2} = 0 & X_{С10} &:= \frac{X_{\text{ТС}3ав_г1}}{2} = 0 & X_{Н4} &:= 125 & X_{Н7} &:= 100 & X_{\text{ТНБел}63_1} &:= 195.6 \\
 X_{Н9} &:= \frac{X_{\text{ТНМ.Ч.1}}}{2} = 62.5 & X_{Н10} &:= \frac{X_{\text{ТН}3ав_г1}}{2} = 62.5 & X_{Р2} &:= 165 & X_{Р3} &:= 165 & X_{\text{ТРБел}63_2} &:= 104 \\
 & & & & X_{С2} &:= 0 & X_{С3} &:= 0 & X_{\text{ТСБел}63_2} &:= 0 \\
 & & & & X_{Н2} &:= 125 & X_{Н3} &:= 125 & X_{\text{ТНБел}63_2} &:= 195.6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{B1} &:= \frac{X_{ТВАмур1}}{2} = 30.55 & X_{B6} &:= \frac{X_{ТВБел63_1}}{2} = 52 & X_{ТВБел40_1} &:= 165 & X_{ТВБел40_2} &:= 165 \\
 X_{C1} &:= \frac{X_{ТСАмур1}}{2} = 0 & X_{C6} &:= \frac{X_{ТСБел63_1}}{2} = 0 & X_{ТСБел40_1} &:= 0 & X_{ТСБел40_2} &:= 0 \\
 X_{H1} &:= \frac{X_{ТНАмур1}}{2} = 56.75 & X_{H6} &:= \frac{X_{ТНБел63_1}}{2} = 97.8 & X_{ТНБел40_1} &:= 125 & X_{ТНБел40_2} &:= 125 \\
 X_{B5} &:= \frac{X_{ТВБел40_1}}{2} = 82.5 & X_{B8} &:= \frac{X_{ТВЗав_1}}{2} = 137.5 & X_{ТВЗав_1} &:= 275 & X_{ТВЗав_2} &:= 275 \\
 X_{C5} &:= \frac{X_{ТСБел40_1}}{2} = 0 & X_{C8} &:= \frac{X_{ТСЗав_1}}{2} = 0 & X_{ТСЗав_1} &:= 0 & X_{ТСЗав_2} &:= 0 \\
 X_{H5} &:= \frac{X_{ТНБел40_1}}{2} = 62.5 & X_{H8} &:= \frac{X_{ТНЗав_1}}{2} = 37 & X_{ТНЗав_1} &:= 74 & X_{ТНЗав_2} &:= 74 \\
 & & & & X_3 &:= 89.63 & X_{33} &:= 107.556 \\
 & & & & X_5 &:= 83.893 & X_{35} &:= 100.672 \\
 & & & & X_7 &:= 82.313 & X_{37} &:= 98.776
 \end{aligned}$$

Преобразование 1 линии ПС Амурская-ПС Завитая
 Преобразование электрической схемы на 1 гармонике:

$$\begin{aligned}
 X_{1.1} &:= \frac{X_{B1} \cdot X_{H1}}{X_{B1} + X_{H1}} = 19.859 & X_{1.4} &:= X_{B3} + X_{C3} + \frac{X_{B3} \cdot X_{C3}}{X_{H3}} = 165 & X_{1.9} &:= X_{B3} + X_{H3} = 290 \\
 X_{1.2} &:= \frac{X_{B2} \cdot X_{H2}}{X_{B2} + X_{H2}} = 71.121 & X_{1.5} &:= X_{B3} + X_{H3} = 290 & X_{1.10} &:= \frac{X_{B7} \cdot X_{H7}}{X_{B7} + X_{H7}} = 66.667 \\
 X_{1.3} &:= \frac{X_{B5} \cdot X_{H5}}{X_{B5} + X_{H5}} = 35.56 & X_{1.6} &:= X_{H3} + X_{C3} + \frac{X_{H3} \cdot X_{C3}}{X_{B3}} = 125 & X_{1.11} &:= \frac{X_{B8} \cdot X_{H8}}{X_{B8} + X_{H8}} = 29.155 \\
 & & & & X_{1.7} &:= X_{B3} + X_{C3} + \frac{X_{B3} \cdot X_{C3}}{X_{H3}} = 165 \\
 & & & & X_{1.8} &:= X_{H3} + X_{C3} + \frac{X_{H3} \cdot X_{C3}}{X_{B3}} = 125 \\
 X_{1.12} &:= \frac{X_{САмурOn18} \cdot X_{1.2}}{X_{САмурOn18} + X_{1.2}} = 71.498 & X_{1.14} &:= \frac{X_{COn285Б_т} \cdot X_{1.5}}{X_{COn285Б_т} + X_{1.5}} = 292.633 & X_{1.16} &:= \frac{X_{CXзав} \cdot X_{1.11}}{X_{CXзав} + X_{1.11}} = 29.16 \\
 X_{1.13} &:= \frac{X_{COn18On285} \cdot X_{1.3}}{X_{COn18On285} + X_{1.3}} = 35.566 & X_{1.15} &:= \frac{X_{CB_тXз} \cdot X_{1.10}}{X_{CB_тXз} + X_{1.10}} = 66.681 \\
 X_{1.17} &:= X_{АмурOn18} + X_{On18On285} + \frac{X_{АмурOn18} \cdot X_{On18On285}}{X_{1.12}} = 28.538 \\
 X_{1.18} &:= X_{АмурOn18} + X_{1.12} + \frac{X_{АмурOn18} \cdot X_{1.12}}{X_{On18On285}} = 77.136 \\
 X_{1.19} &:= X_{On18On285} + X_{1.12} + \frac{X_{On18On285} \cdot X_{1.12}}{X_{АмурOn18}} = 1.34 \times 10^3 \\
 X_{1.20} &:= X_{On285Б_т} + X_{1.4} + \frac{X_{On285Б_т} \cdot X_{1.4}}{X_{1.14}} = 170.709 & X_{1.24} &:= X_{1.9} + X_{1.7} + \frac{X_{1.9} \cdot X_{1.7}}{X_{Б_тXз}} = 1.778 \times 10^3 \\
 X_{1.21} &:= X_{On285Б_т} + X_{1.14} + \frac{X_{On285Б_т} \cdot X_{1.14}}{X_{1.4}} = 302.758 & X_{1.25} &:= X_{1.9} + X_{Б_тXз} + \frac{X_{1.9} \cdot X_{Б_тXз}}{X_{1.7}} = 389.718 \\
 X_{1.22} &:= X_{1.4} + X_{1.14} + \frac{X_{1.4} \cdot X_{1.14}}{X_{On285Б_т}} = 1.368 \times 10^4 & X_{1.26} &:= \frac{X_{1.1} \cdot X_{1.18}}{X_{1.1} + X_{1.18}} = 15.793 \\
 X_{1.23} &:= X_{1.7} + X_{Б_тXз} + \frac{X_{1.7} \cdot X_{Б_тXз}}{X_{1.9}} = 221.736
 \end{aligned}$$

$$X_{1.27} := \frac{X_{1.19} \cdot X_{1.13} \cdot X_{1.21}}{X_{1.19} \cdot X_{1.13} + X_{1.19} \cdot X_{1.21} + X_{1.13} \cdot X_{1.21}} = 31.089$$

$$X_{1.28} := \frac{X_{1.25} \cdot X_{1.15}}{X_{1.25} + X_{1.15}} = 56.938$$

$$X_{1.29} := X_{1.17} + X_{1.20} + \frac{X_{1.17} \cdot X_{1.20}}{X_{1.17}} = 355.952$$

$$X_{1.30} := X_{1.27} + X_{1.17} + \frac{X_{1.27} \cdot X_{1.17}}{X_{1.20}} = 64.824$$

$$X_{1.31} := X_{1.27} + X_{1.20} + \frac{X_{1.27} \cdot X_{1.20}}{X_{1.17}} = 387.764$$

$$X_{1.32} := X_{1.23} + X_{Xв3ав} + \frac{X_{1.23} \cdot X_{Xв3ав}}{X_{1.28}} = 304.106$$

$$X_{1.33} := X_{1.28} + X_{1.23} + \frac{X_{1.28} \cdot X_{1.23}}{X_{Xв3ав}} = 1.029 \times 10^3$$

$$X_{1.34} := X_{1.28} + X_{Xв3ав} + \frac{X_{1.28} \cdot X_{Xв3ав}}{X_{1.23}} = 78.09$$

$$X_{1.35} := \frac{X_{1.26} \cdot X_{1.30}}{X_{1.26} + X_{1.30}} = 12.699$$

$$X_{1.36} := \frac{X_{1.22} \cdot X_{1.31}}{X_{1.22} + X_{1.31}} = 377.078$$

$$X_{1.37} := \frac{X_{1.24} \cdot X_{1.33}}{X_{1.24} + X_{1.33}} = 651.759$$

$$X_{1.38} := \frac{X_{1.16} \cdot X_{1.34}}{X_{1.16} + X_{1.34}} = 21.232$$

$$X_{1.39} := \frac{X_{1.29} \cdot X_{1.36}}{X_{1.29} + X_{1.36}} = 183.105$$

$$X_{1.40} := \frac{X_{1.32} \cdot X_{1.37}}{X_{1.32} + X_{1.37}} = 207.355$$

$$X_{1.эквI} := \frac{X_{1.35} \cdot X_{1.39}}{X_{1.35} + X_{1.39}} = 11.876$$

$$X_{1.эквII} := \frac{X_{1.38} \cdot X_{1.40}}{X_{1.38} + X_{1.40}} = 19.26$$

$U_H := 220 \text{ кВ}$

$$S_{нагрБел_г} := \frac{0.85 \sqrt{47.4^2 + 28.4^2} \cdot 10^3}{2} = 2.348 \times 10^4 \text{ кВт}$$

$$I_1 := \frac{S_{нагрБел_г}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 61.6 \text{ А}$$

Коэф. для тока протекающего на X6 и X8:

$$K_{1.1} := \frac{X_{1.эквI}}{X_{1.6} + X_{1.эквI}} = 0.087$$

$$K_{1.10} := \frac{X_{1.эквII}}{X_{1.8} + X_{1.эквII}} = 0.134$$

Ток, протекающий на X6 и X8:

$$I_{1.1} := K_{1.1} \cdot I_1 = 5.347 \text{ А}$$

$$I_{1.10} := K_{1.10} \cdot I_1 = 8.228 \text{ А}$$

$$U_{1.1} := I_{1.1} \cdot X_{1.6} = 668.393 \text{ В}$$

$$U_{1.10} := I_{1.10} \cdot X_{1.8} = 1.029 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на X4 и X7:

$$K_{1.2} := \frac{X_{1.6}}{X_{1.6} + X_{1.эквI}} = 0.913$$

$$K_{1.11} := \frac{X_{1.7}}{X_{1.7} + X_{1.эквII}} = 0.895$$

Ток, протекающий на X4 и X7:

$$I_{1.2} := K_{1.2} \cdot I_1 = 56.283 \text{ А}$$

$$I_{1.11} := K_{1.11} \cdot I_1 = 55.188 \text{ А}$$

$$U_{1.2} := I_{1.2} \cdot X_{1.эквI} = 668.393 \text{ В}$$

$$U_{1.11} := I_{1.11} \cdot X_{1.эквII} = 1.063 \times 10^3 \text{ В}$$

2 эквивалент

$$X_{1.41} := \frac{X_{САмурОп18} \cdot X_{1.2}}{X_{САмурОп18} + X_{1.2}} = 71.498$$

$$X_{1.43} := \frac{X_{СБ_гXв} \cdot X_{1.10}}{X_{СБ_гXв} + X_{1.10}} = 66.681$$

$$X_{1.42} := \frac{X_{СОп18Оп285} \cdot X_{1.3}}{X_{СОп18Оп285} + X_{1.3}} = 35.566$$

$$X_{1.44} := \frac{X_{СXв3ав} \cdot X_{1.11}}{X_{СXв3ав} + X_{1.11}} = 29.16$$

$$X_{1.45} := X_{Оп285Б_г} + X_{Оп18Оп285} + \frac{X_{Оп285Б_г} \cdot X_{Оп18Оп285}}{X_{1.42}} = 32.818$$

$$X_{1.46} := X_{\text{On18On285}} + X_{1.42} + \frac{X_{\text{On18On285}} \cdot X_{1.42}}{X_{\text{On285Б}_\tau}} = 319.715$$

$$X_{1.47} := X_{\text{On285Б}_\tau} + X_{1.42} + \frac{X_{\text{On285Б}_\tau} \cdot X_{1.42}}{X_{\text{On18On285}}} = 44.125$$

$$X_{1.48} := X_{\text{Б}_\tau\text{Хв}} + X_{\text{Хв3ав}} + \frac{X_{\text{Б}_\tau\text{Хв}} \cdot X_{\text{Хв3ав}}}{X_{1.43}} = 62.118$$

$$X_{1.49} := X_{\text{Б}_\tau\text{Хв}} + X_{1.43} + \frac{X_{\text{Б}_\tau\text{Хв}} \cdot X_{1.43}}{X_{\text{Хв3ав}}} = 246.117$$

$$X_{1.50} := X_{\text{Хв3ав}} + X_{1.43} + \frac{X_{\text{Хв3ав}} \cdot X_{1.43}}{X_{\text{Б}_\tau\text{Хв}}} = 114.544$$

$$X_{1.51} := \frac{X_{1.41} \cdot X_{1.46}}{X_{1.41} + X_{1.46}} = 58.431 \quad X_{1.54} := X_{\text{АмурOn18}} + X_{1.45} + \frac{X_{\text{АмурOn18}} \cdot X_{1.45}}{X_{1.51}} = 35.196$$

$$X_{1.52} := \frac{X_{\text{COн285Б}_\tau} \cdot X_{1.47}}{X_{\text{COн285Б}_\tau} + X_{1.47}} = 44.186 \quad X_{1.55} := X_{\text{АмурOn18}} + X_{1.51} + \frac{X_{\text{АмурOn18}} \cdot X_{1.51}}{X_{1.45}} = 62.665$$

$$X_{1.53} := \frac{X_{1.50} \cdot X_{1.44}}{X_{1.50} + X_{1.44}} = 23.243 \quad X_{1.56} := X_{1.51} + X_{1.45} + \frac{X_{1.51} \cdot X_{1.45}}{X_{\text{АмурOn18}}} = 1.351 \times 10^3$$

$$X_{1.57} := \frac{X_{1.48} \cdot X_{1.49}}{X_{1.48} + X_{1.49}} = 49.6 \quad X_{1.58} := \frac{X_{1.1} \cdot X_{1.55}}{X_{1.1} + X_{1.55}} = 15.08$$

$$X_{1.59} := \frac{X_{1.56} \cdot X_{1.52}}{X_{1.56} + X_{1.52}} = 42.786 \quad X_{1.60} := \frac{X_{1.59} \cdot X_{1.54}}{X_{1.59} + X_{1.54}} = 19.311$$

$$X_{1.\text{эквIII}} := \frac{X_{1.57} \cdot X_{1.53}}{X_{1.57} + X_{1.53}} = 15.827 \quad X_{1.\text{эквIV}} := \frac{X_{1.58} \cdot X_{1.60}}{X_{1.58} + X_{1.60}} = 8.468$$

Коэф. для тока, протекающего на X5 и X9

$$K_{1.3} := \frac{X_{1.\text{эквIV}}}{X_{1.5} + X_{1.\text{эквIV}}} = 0.028 \quad K_{1.12} := \frac{X_{1.\text{эквIII}}}{X_{1.9} + X_{1.\text{эквIII}}} = 0.052$$

Ток, протекающий на X5 и X9:

$$I_{1.3} := K_{1.3} \cdot I_{1.2} = 1.597 \text{ А} \quad I_{1.12} := K_{1.12} \cdot I_{1.11} = 2.856 \text{ А}$$

$$U_{1.3} := I_{1.3} \cdot X_{1.5} = 463.061 \text{ В} \quad U_{1.12} := I_{1.12} \cdot X_{1.9} = 828.238 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях On285Бел/т и Бел/тХв:

$$K_{1.4} := \frac{X_{1.5}}{X_{1.5} + X_{1.\text{эквIV}}} = 0.972 \quad K_{1.13} := \frac{X_{1.9}}{X_{1.9} + X_{1.\text{эквIII}}} = 0.948$$

Ток, протекающий на линиях On285Бел/т и Бел/тХв:

$$I_{1.4} := K_{1.4} \cdot I_{1.3} = 54.686 \text{ А} \quad I_{1.13} := K_{1.13} \cdot I_{1.11} = 52.332 \text{ А}$$

$$U_{1.4} := I_{1.4} \cdot X_{1.\text{эквIV}} = 463.061 \text{ В} \quad U_{1.13} := I_{1.13} \cdot X_{1.\text{эквIII}} = 828.238 \text{ В}$$

3 эквивалент

$$X_{1.61} := \frac{X_{\text{САмурOn18}} \cdot X_{1.2}}{X_{\text{САмурOn18}} + X_{1.2}} = 71.498 \quad X_{1.62} := \frac{X_{\text{Хв3ав}} \cdot X_{\text{CXв3ав}}}{X_{\text{Хв3ав}} + X_{\text{CXв3ав}}} = 16.832$$

$$X_{1.63} := X_{\text{АмурOn18}} + X_{\text{On18On285}} + \frac{X_{\text{АмурOn18}} \cdot X_{\text{On18On285}}}{X_{1.61}} = 28.538$$

$$X_{1.64} := X_{1.61} + X_{\text{АмурОп18}} + \frac{X_{1.61} \cdot X_{\text{АмурОп18}}}{X_{\text{Оп18Оп285}}} = 77.136$$

$$X_{1.65} := X_{1.61} + X_{\text{Оп18Оп285}} + \frac{X_{1.61} \cdot X_{\text{Оп18Оп285}}}{X_{\text{АмурОп18}}} = 1.34 \times 10^3$$

$$X_{1.эзвV} := \frac{X_{1.62} \cdot X_{1.11}}{X_{1.62} + X_{1.11}} = 10.671 \quad X_{1.66} := \frac{X_{1.1} \cdot X_{1.64}}{X_{1.1} + X_{1.64}} = 15.793 \quad X_{1.67} := \frac{X_{\text{СОп285Б}_T} \cdot X_{1.65}}{X_{\text{СОп285Б}_T} + X_{1.65}} = 1.398 \times 10^3$$

$$X_{1.68} := \frac{X_{1.63} \cdot X_{1.67}}{X_{1.63} + X_{1.67}} = 27.967 \quad X_{1.эзвVI} := \frac{X_{1.66} \cdot X_{1.68}}{X_{1.66} + X_{1.68}} = 10.093$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная

$$K_{1.5} := \frac{X_{1.эзвVI}}{X_{1.3} + X_{1.эзвVI}} = 0.221 \quad K_{1.14} := \frac{X_{1.эзвV}}{X_{1.10} + X_{1.эзвV}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.5} := K_{1.5} \cdot I_{1.4} = 12.09 \text{ А} \quad I_{1.14} := K_{1.14} \cdot I_{1.13} = 7.221 \text{ А}$$

$$U_{1.5} := I_{1.5} \cdot X_{1.3} = 429.936 \text{ В} \quad U_{1.14} := I_{1.14} \cdot X_{1.10} = 481.383 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$K_{1.6} := \frac{X_{1.3}}{X_{1.3} + X_{1.эзвVI}} = 0.779 \quad K_{1.15} := \frac{X_{1.10}}{X_{1.10} + X_{1.эзвV}} = 0.862$$

Ток, протекающий на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$I_{1.6} := K_{1.6} \cdot I_{1.4} = 42.596 \text{ А} \quad I_{1.15} := K_{1.15} \cdot I_{1.13} = 45.111 \text{ А}$$

$$U_{1.6} := I_{1.6} \cdot X_{1.эзвVI} = 429.936 \text{ В} \quad U_{1.15} := I_{1.15} \cdot X_{1.эзвV} = 481.383 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$X_{1.69} := \frac{X_{\text{САмурОп18}} \cdot X_{\text{АмурОп18}}}{X_{\text{САмурОп18}} + X_{\text{АмурОп18}}} = 1.523$$

$$X_{1.эзвVII} := \frac{X_{1.1} \cdot X_{1.69}}{X_{1.1} + X_{1.69}} = 1.414$$

$$X_{1.70} := X_{\text{Б}_T\text{Хв}} + X_{1.7} + \frac{X_{\text{Б}_T\text{Хв}} \cdot X_{1.7}}{X_{1.9}} = 221.736$$

$$X_{1.71} := X_{1.7} + X_{1.9} + \frac{X_{1.7} \cdot X_{1.9}}{X_{\text{Б}_T\text{Хв}}} = 1.778 \times 10^3$$

$$X_{1.72} := X_{\text{Б}_T\text{Хв}} + X_{1.9} + \frac{X_{\text{Б}_T\text{Хв}} \cdot X_{1.9}}{X_{1.7}} = 389.718$$

$$X_{1.74} := \frac{X_{1.8} \cdot X_{1.71}}{X_{1.8} + X_{1.71}} = 116.79$$

$$X_{1.73} := \frac{X_{\text{СБ}_T\text{Хв}} \cdot X_{1.10}}{X_{\text{СБ}_T\text{Хв}} + X_{1.10}} = 66.681$$

$$X_{1.75} := \frac{X_{1.72} \cdot X_{1.73}}{X_{1.72} + X_{1.73}} = 56.938$$

$$X_{1.77} := X_{1.70} + X_{1.75} + \frac{X_{1.70} \cdot X_{1.75}}{X_{\text{ХвЗав}}} = 1.029 \times 10^3$$

$$X_{1.76} := X_{\text{ХвЗав}} + X_{1.70} + \frac{X_{\text{ХвЗав}} \cdot X_{1.70}}{X_{1.75}} = 304.106$$

$$K_{1.78} := X_{\text{ХвЗав}} + X_{1.75} + \frac{X_{\text{ХвЗав}} \cdot X_{1.75}}{X_{1.70}} = 78.09$$

$$X_{1.79} := \frac{X_{1.74} \cdot X_{1.77}}{X_{1.74} + X_{1.77}} = 104.884$$

$$X_{1.80} := \frac{X_{1.78} \cdot X_{\text{СХвЗав}}}{X_{1.78} + X_{\text{СХвЗав}}} = 78.131$$

$$X_{1.81} := \frac{X_{1.76} \cdot X_{1.80}}{X_{1.76} + X_{1.80}} = 62.161$$

$$X_{1.эзвVIII} := \frac{X_{1.81} \cdot X_{1.79}}{X_{1.81} + X_{1.79}} = 39.029$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Свободный и ПС Завитая:

$$K_{1.7} := \frac{X_{1.эквVII}}{X_{1.2} + X_{1.эквVII}} = 0.019$$

$$K_{1.16} := \frac{X_{1.эквVIII}}{X_{1.11} + X_{1.эквVIII}} = 0.572$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.7} := K_{1.7} \cdot I_{1.6} = 0.83 \text{ А}$$

$$I_{1.16} := K_{1.16} \cdot I_{1.15} = 25.821 \text{ А}$$

$$U_{1.7} := I_{1.7} \cdot X_{1.2} = 59.066 \text{ В}$$

$$U_{1.16} := I_{1.16} \cdot X_{1.11} = 752.841 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Амур Оп18:

$$K_{1.8} := \frac{X_{1.2}}{X_{1.2} + X_{1.эквVII}} = 0.981$$

Ток, протекающий на линиях Амур Оп18:

$$I_{1.8} := K_{1.8} \cdot I_{1.6} = 41.765 \text{ А}$$

$$U_{1.8} := I_{1.8} \cdot X_{1.эквVII} = 59.066 \text{ В}$$

5 эквивалент

$$X_{1.82} := \frac{X_{САмурОп18} \cdot X_{1.2}}{X_{САмурОп18} + X_{1.2}} = 71.498 \quad X_{1.85} := X_{АмурОп18} + X_{Оп18Оп285} + \frac{X_{АмурОп18} \cdot X_{Оп18Оп285}}{X_{1.82}} = 28.538$$

$$X_{1.83} := \frac{X_{СОп18Оп285} \cdot X_{1.3}}{X_{СОп18Оп285} + X_{1.3}} = 35.566 \quad X_{1.86} := X_{АмурОп18} + X_{1.82} + \frac{X_{АмурОп18} \cdot X_{1.82}}{X_{Оп18Оп285}} = 77.136$$

$$X_{1.84} := \frac{X_{СОп285Б_Г} \cdot X_{1.5}}{X_{СОп285Б_Г} + X_{1.5}} = 292.633 \quad X_{1.87} := X_{Оп18Оп285} + X_{1.82} + \frac{X_{Оп18Оп285} \cdot X_{1.82}}{X_{АмурОп18}} = 1.34 \times 10^3$$

$$X_{1.88} := X_{Оп285Б_Г} + X_{1.4} + \frac{X_{Оп285Б_Г} \cdot X_{1.4}}{X_{1.84}} = 170.709$$

$$X_{1.89} := X_{Оп285Б_Г} + X_{1.84} + \frac{X_{Оп285Б_Г} \cdot X_{1.84}}{X_{1.4}} = 302.758$$

$$X_{1.90} := X_{1.4} + X_{1.84} + \frac{X_{1.4} \cdot X_{1.84}}{X_{Оп285Б_Г}} = 1.368 \times 10^4$$

$$X_{1.92} := \frac{X_{1.90} \cdot X_{1.6}}{X_{1.90} + X_{1.6}} = 123.868$$

$$X_{1.91} := \frac{X_{1.87} \cdot X_{1.83} \cdot X_{1.89}}{X_{1.87} \cdot X_{1.83} + X_{1.87} \cdot X_{1.89} + X_{1.83} \cdot X_{1.89}} = 31.089 \quad X_{1.93} := X_{1.85} + X_{1.88} + \frac{X_{1.85} \cdot X_{1.88}}{X_{1.91}} = 355.952$$

$$X_{1.94} := X_{1.85} + X_{1.91} + \frac{X_{1.85} \cdot X_{1.91}}{X_{1.88}} = 64.824 \quad X_{1.96} := \frac{X_{1.86} \cdot X_{1.94}}{X_{1.86} + X_{1.94}} = 35.223$$

$$X_{1.95} := X_{1.88} + X_{1.91} + \frac{X_{1.88} \cdot X_{1.91}}{X_{1.85}} = 387.764 \quad X_{1.97} := \frac{X_{1.95} \cdot X_{1.92}}{X_{1.95} + X_{1.92}} = 93.879$$

$$X_{1.98} := \frac{X_{1.93} \cdot X_{1.97}}{X_{1.93} + X_{1.97}} = 74.287 \quad X_{1.эквIX} := \frac{X_{1.98} \cdot X_{1.96}}{X_{1.98} + X_{1.96}} = 23.894$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{1.9} := \frac{X_{1.эквIX}}{X_{1.1} + X_{1.эквIX}} = 0.546$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{1.9} := K_{1.9} \cdot I_{1.8} = 22.808 \text{ А}$$

$$U_{1.9} := I_{1.9} \cdot X_{1.1} = 452.954 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 3 гармонике:

$$n := 3$$

$$X_{САмурОн18.3} := \frac{-(3.46 + 0.04)}{n \cdot b_{уд240}} = -4.487 \times 10^3 \quad X_{АмурОн18.3} := n \cdot X_{уд240} \cdot (3.46 + 0.04) = 4.567$$

$$X_{СОн18Он285.3} := \frac{-(60.74 + 0.07)}{n \cdot b_{уд240}} = -7.796 \times 10^4 \quad X_{Он18Он285.3} := n \cdot X_{уд240} \cdot (60.74 + 0.07) = 79.357$$

$$X_{СОн285Б_т.3} := \frac{-8.51}{n \cdot b_{уд300}} = -1.074 \times 10^4 \quad X_{Он285Б_т.3} := n \cdot X_{уд300} \cdot 8.51 = 10.952$$

$$X_{СБ_тХв.3} := \frac{-(82.24 + 0.89)}{n \cdot b_{уд240}} = -1.066 \times 10^5 \quad X_{Б_тХв.3} := n \cdot X_{уд240} \cdot (82.24 + 0.89) = 108.485$$

$$X_{СХв3ав.3} := \frac{-39.23}{n \cdot b_{уд300}} = -4.953 \times 10^4 \quad X_{Хв3ав.3} := n \cdot X_{уд300} \cdot 39.23 = 50.489$$

$$X_{1.1.3} := \frac{n \cdot X_{Б1} \cdot n \cdot X_{Н1}}{n \cdot X_{Б1} + n \cdot X_{Н1}} = 59.578 \quad X_{1.4.3} := n \cdot X_{Б3} + n \cdot X_{С3} + \frac{n \cdot X_{Б3} \cdot n \cdot X_{С3}}{n \cdot X_{Н3}} = 495$$

$$X_{1.2.3} := \frac{n \cdot X_{Б2} \cdot n \cdot X_{Н2}}{n \cdot X_{Б2} + n \cdot X_{Н2}} = 213.362 \quad X_{1.5.3} := n \cdot X_{Б3} + n \cdot X_{Н3} = 870$$

$$X_{1.3.3} := \frac{n \cdot X_{Б5} \cdot n \cdot X_{Н5}}{n \cdot X_{Б5} + n \cdot X_{Н5}} = 106.681 \quad X_{1.6.3} := n \cdot X_{Н3} + n \cdot X_{С3} + \frac{n \cdot X_{Н3} \cdot n \cdot X_{С3}}{n \cdot X_{Б3}} = 375$$

$$X_{1.10.3} := \frac{n \cdot X_{Б7} \cdot n \cdot X_{Н7}}{n \cdot X_{Б7} + n \cdot X_{Н7}} = 200 \quad X_{1.7.3} := n \cdot X_{Б3} + n \cdot X_{С3} + \frac{n \cdot X_{Б3} \cdot n \cdot X_{С3}}{n \cdot X_{Н3}} = 495$$

$$X_{1.11.3} := \frac{n \cdot X_{Б8} \cdot n \cdot X_{Н8}}{n \cdot X_{Б8} + n \cdot X_{Н8}} = 87.464 \quad X_{1.8.3} := n \cdot X_{Н3} + n \cdot X_{С3} + \frac{n \cdot X_{Н3} \cdot n \cdot X_{С3}}{n \cdot X_{Б3}} = 375$$

$$X_{1.9.3} := n \cdot X_{Б3} + n \cdot X_{Н3} = 870$$

1 эквивалент

$$X_{1.12.3} := \frac{X_{САмурОн18.3} \cdot X_{1.2.3}}{X_{САмурОн18.3} + X_{1.2.3}} = 224.014 \quad X_{1.13.3} := \frac{X_{СОн18Он285.3} \cdot X_{1.3.3}}{X_{СОн18Он285.3} + X_{1.3.3}} = 106.827$$

$$X_{1.14.3} := \frac{X_{СОн285Б_т.3} \cdot X_{1.5.3}}{X_{СОн285Б_т.3} + X_{1.5.3}} = 946.648 \quad X_{1.15.3} := \frac{X_{СБ_тХв.3} \cdot X_{1.10.3}}{X_{СБ_тХв.3} + X_{1.10.3}} = 200.376$$

$$X_{1.16.3} := \frac{X_{СХв3ав.3} \cdot X_{1.11.3}}{X_{СХв3ав.3} + X_{1.11.3}} = 87.619$$

$$X_{1.17.3} := X_{АмурОн18.3} + X_{Он18Он285.3} + \frac{X_{АмурОн18.3} \cdot X_{Он18Он285.3}}{X_{1.12.3}} = 85.543$$

$$X_{1.18.3} := X_{АмурОн18.3} + X_{1.12.3} + \frac{X_{АмурОн18.3} \cdot X_{1.12.3}}{X_{Он18Он285.3}} = 241.475$$

$$X_{1.19.3} := X_{Он18Он285.3} + X_{1.12.3} + \frac{X_{Он18Он285.3} \cdot X_{1.12.3}}{X_{АмурОн18.3}} = 4.195 \times 10^3$$

$$X_{1.20.3} := X_{Он285Б_т.3} + X_{1.4.3} + \frac{X_{Он285Б_т.3} \cdot X_{1.4.3}}{X_{1.14.3}} = 511.679$$

$$X_{1.21.3} := X_{Он285Б_т.3} + X_{1.14.3} + \frac{X_{Он285Б_т.3} \cdot X_{1.14.3}}{X_{1.4.3}} = 978.546$$

$$X_{1.22.3} := X_{1.4.3} + X_{1.14.3} + \frac{X_{1.4.3} \cdot X_{1.14.3}}{X_{Он285Б_т.3}} = 4.423 \times 10^4$$

$$X_{1.23.3} := X_{1.7.3} + X_{Б_тХв.3} + \frac{X_{1.7.3} \cdot X_{Б_тХв.3}}{X_{1.9.3}} = 665.209$$

$$X_{1.24.3} := X_{1.9.3} + X_{1.7.3} + \frac{X_{1.9.3} \cdot X_{1.7.3}}{X_{B_rX_{3.3}}} = 5.335 \times 10^3$$

$$X_{1.25.3} := X_{1.9.3} + X_{B_rX_{3.3}} + \frac{X_{1.9.3} \cdot X_{B_rX_{3.3}}}{X_{1.7.3}} = 1.169 \times 10^3$$

$$X_{1.26.3} := \frac{X_{1.13.3} \cdot X_{1.18.3}}{X_{1.13.3} + X_{1.18.3}} = 47.787$$

$$X_{1.27.3} := \frac{X_{1.19.3} \cdot X_{1.13.3} \cdot X_{1.21.3}}{X_{1.19.3} \cdot X_{1.13.3} + X_{1.19.3} \cdot X_{1.21.3} + X_{1.13.3} \cdot X_{1.21.3}} = 94.151$$

$$X_{1.28.3} := \frac{X_{1.25.3} \cdot X_{1.15.3}}{X_{1.25.3} + X_{1.15.3}} = 171.059$$

$$X_{1.29.3} := X_{1.17.3} + X_{1.20.3} + \frac{X_{1.17.3} \cdot X_{1.20.3}}{X_{1.27.3}} = 1.062 \times 10^3$$

$$X_{1.30.3} := X_{1.27.3} + X_{1.17.3} + \frac{X_{1.27.3} \cdot X_{1.17.3}}{X_{1.20.3}} = 195.434$$

$$X_{1.31.3} := X_{1.27.3} + X_{1.20.3} + \frac{X_{1.27.3} \cdot X_{1.20.3}}{X_{1.17.3}} = 1.169 \times 10^3$$

$$X_{1.35.3} := \frac{X_{1.26.3} \cdot X_{1.30.3}}{X_{1.26.3} + X_{1.30.3}} = 38.398$$

$$X_{1.32.3} := X_{1.23.3} + X_{X_{333.3}} + \frac{X_{1.23.3} \cdot X_{X_{333.3}}}{X_{1.28.3}} = 912.038$$

$$X_{1.36.3} := \frac{X_{1.22.3} \cdot X_{1.31.3}}{X_{1.22.3} + X_{1.31.3}} = 1.139 \times 10^3$$

$$X_{1.33.3} := X_{1.28.3} + X_{1.23.3} + \frac{X_{1.28.3} \cdot X_{1.23.3}}{X_{X_{333.3}}} = 3.09 \times 10^3$$

$$X_{1.37.3} := \frac{X_{1.24.3} \cdot X_{1.33.3}}{X_{1.24.3} + X_{1.33.3}} = 1.957 \times 10^3$$

$$X_{1.34.3} := X_{1.28.3} + X_{X_{333.3}} + \frac{X_{1.28.3} \cdot X_{X_{333.3}}}{X_{1.23.3}} = 234.531$$

$$X_{1.38.3} := \frac{X_{1.16.3} \cdot X_{1.34.3}}{X_{1.16.3} + X_{1.34.3}} = 63.788$$

$$X_{1.39.3} := \frac{X_{1.29.3} \cdot X_{1.36.3}}{X_{1.29.3} + X_{1.36.3}} = 549.584$$

$$X_{1.353.3} := \frac{X_{1.35.3} \cdot X_{1.39.3}}{X_{1.35.3} + X_{1.39.3}} = 35.891$$

$$X_{1.40.3} := \frac{X_{1.32.3} \cdot X_{1.37.3}}{X_{1.32.3} + X_{1.37.3}} = 622.076$$

$$X_{1.383.3} := \frac{X_{1.38.3} \cdot X_{1.40.3}}{X_{1.38.3} + X_{1.40.3}} = 57.856$$

Коэф. для тока протекающего на X6 и X8:

$$K_{1.13.3} := \frac{X_{1.353.3}}{X_{1.6.3} + X_{1.353.3}} = 0.087$$

$$K_{1.10.3} := \frac{X_{1.383.3}}{X_{1.8.3} + X_{1.383.3}} = 0.134$$

Ток, протекающий на X6 и X8:

$$I_{1.13.3} := K_{1.13.3} \cdot I_1 = 5.383 \text{ A}$$

$$I_{1.10.3} := K_{1.10.3} \cdot I_1 = 8.237 \text{ A}$$

$$U_{1.13.3} := I_{1.13.3} \cdot X_{1.6.3} = 2.019 \times 10^3 \text{ В}$$

$$U_{1.10.3} := I_{1.10.3} \cdot X_{1.8.3} = 3.089 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на X4 и X7:

$$K_{1.23.3} := \frac{X_{1.6.3}}{X_{1.6.3} + X_{1.353.3}} = 0.913$$

$$K_{1.11.3} := \frac{X_{1.7.3}}{X_{1.7.3} + X_{1.383.3}} = 0.895$$

Ток, протекающий на X4 и X7:

$$I_{1.23.3} := K_{1.23.3} \cdot I_1 = 56.247 \text{ A}$$

$$I_{1.11.3} := K_{1.11.3} \cdot I_1 = 55.18 \text{ A}$$

$$U_{1.23.3} := I_{1.23.3} \cdot X_{1.353.3} = 2.019 \times 10^3 \text{ В}$$

$$U_{1.11.3} := I_{1.11.3} \cdot X_{1.383.3} = 3.192 \times 10^3 \text{ В}$$

2 эквивалент

$$X_{1.41.3} := \frac{X_{CAмурОн18.3} \cdot X_{1.2.3}}{X_{CAмурОн18.3} + X_{1.2.3}} = 224.014 \quad X_{1.43.3} := \frac{X_{CB_rXв.3} \cdot X_{1.10.3}}{X_{CB_rXв.3} + X_{1.10.3}} = 200.376$$

$$X_{1.42.3} := \frac{X_{COн18Он285.3} \cdot X_{1.3.3}}{X_{COн18Он285.3} + X_{1.3.3}} = 106.827 \quad X_{1.44.3} := \frac{X_{CXв3ав.3} \cdot X_{1.11.3}}{X_{CXв3ав.3} + X_{1.11.3}} = 87.619$$

$$X_{1.45.3} := X_{Он285Б_т.3} + X_{Он18Он285.3} + \frac{X_{Он285Б_т.3} \cdot X_{Он18Он285.3}}{X_{1.42.3}} = 98.445$$

$$X_{1.46.3} := X_{Он18Он285.3} + X_{1.42.3} + \frac{X_{Он18Он285.3} \cdot X_{1.42.3}}{X_{Он285Б_т.3}} = 960.217$$

$$X_{1.47.3} := X_{Он285Б_т.3} + X_{1.42.3} + \frac{X_{Он285Б_т.3} \cdot X_{1.42.3}}{X_{Он18Он285.3}} = 132.523$$

$$X_{1.48.3} := X_{Б_rXв.3} + X_{Xв3ав.3} + \frac{X_{Б_rXв.3} \cdot X_{Xв3ав.3}}{X_{1.43.3}} = 186.309$$

$$X_{1.49.3} := X_{Б_rXв.3} + X_{1.43.3} + \frac{X_{Б_rXв.3} \cdot X_{1.43.3}}{X_{Xв3ав.3}} = 739.404$$

$$X_{1.50.3} := X_{Xв3ав.3} + X_{1.43.3} + \frac{X_{Xв3ав.3} \cdot X_{1.43.3}}{X_{Б_rXв.3}} = 344.121$$

$$X_{1.51.3} := \frac{X_{1.41.3} \cdot X_{1.46.3}}{X_{1.41.3} + X_{1.46.3}} = 181.638$$

$$X_{1.54.3} := X_{АмурОн18.3} + X_{1.45.3} + \frac{X_{АмурОн18.3} \cdot X_{1.45.3}}{X_{1.51.3}} = 105.488$$

$$X_{1.52.3} := \frac{X_{COн285Б_т.3} \cdot X_{1.47.3}}{X_{COн285Б_т.3} + X_{1.47.3}} = 134.178$$

$$X_{1.55.3} := X_{АмурОн18.3} + X_{1.51.3} + \frac{X_{АмурОн18.3} \cdot X_{1.51.3}}{X_{1.45.3}} = 194.633$$

$$X_{1.53.3} := \frac{X_{1.50.3} \cdot X_{1.44.3}}{X_{1.50.3} + X_{1.44.3}} = 69.837$$

$$X_{1.56.3} := X_{1.51.3} + X_{1.45.3} + \frac{X_{1.51.3} \cdot X_{1.45.3}}{X_{АмурОн18.3}} = 4.195 \times 10^3$$

$$X_{1.57.3} := \frac{X_{1.48.3} \cdot X_{1.49.3}}{X_{1.48.3} + X_{1.49.3}} = 148.812$$

$$X_{1.58.3} := \frac{X_{1.1.3} \cdot X_{1.55.3}}{X_{1.1.3} + X_{1.55.3}} = 45.615$$

$$X_{1.59.3} := \frac{X_{1.56.3} \cdot X_{1.52.3}}{X_{1.56.3} + X_{1.52.3}} = 130.019 \quad X_{1.60.3} := \frac{X_{1.59.3} \cdot X_{1.54.3}}{X_{1.59.3} + X_{1.54.3}} = 58.238$$

$$X_{1.эквIII.3} := \frac{X_{1.57.3} \cdot X_{1.53.3}}{X_{1.57.3} + X_{1.53.3}} = 47.531 \quad X_{1.эквIV.3} := \frac{X_{1.58.3} \cdot X_{1.60.3}}{X_{1.58.3} + X_{1.60.3}} = 25.58$$

Коэф. для тока, протекающего на X5 и X9

$$K_{1.3.3} := \frac{X_{1.эквIV.3}}{X_{1.5.3} + X_{1.эквIV.3}} = 0.029$$

$$K_{1.12.3} := \frac{X_{1.эквIII.3}}{X_{1.9.3} + X_{1.эквIII.3}} = 0.052$$

Ток, протекающий на X5 и X9:

$$I_{1.3.3} := K_{1.3.3} \cdot I_{1.2.3} = 1.607 \text{ А} \quad I_{1.12.3} := K_{1.12.3} \cdot I_{1.11.3} = 2.859 \text{ А}$$

$$U_{1.3.3} := I_{1.3.3} \cdot X_{1.5.3} = 1.398 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.12.3} := I_{1.12.3} \cdot X_{1.9.3} = 2.487 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Он285 Бел/т и Бел/тXв:

$$K_{1.4.3} := \frac{X_{1.5.3}}{X_{1.5.3} + X_{1.эквIV.3}} = 0.971$$

$$K_{1.13.3} := \frac{X_{1.9.3}}{X_{1.9.3} + X_{1.эквIII.3}} = 0.948$$

Ток, протекающий на линиях Оп285Бел/т и Бел/тХв:

$$I_{1.4.3} := K_{1.4.3} \cdot I_{1.2.3} = 54.64 \text{ А} \quad I_{1.13.3} := K_{1.13.3} \cdot I_{1.11.3} = 52.322 \text{ А}$$

$$U_{1.4.3} := I_{1.4.3} \cdot X_{1.эквIV.3} = 1.398 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.13.3} := I_{1.13.3} \cdot X_{1.эквIII.3} = 2.487 \times 10^3 \text{ В}$$

3 эквивалент

$$X_{1.61.3} := \frac{X_{САмурОп18.3} \cdot X_{1.2.3}}{X_{САмурОп18.3} + X_{1.2.3}} = 224.014$$

$$X_{1.62.3} := \frac{X_{ХвЗав.3} \cdot X_{СХвЗав.3}}{X_{ХвЗав.3} + X_{СХвЗав.3}} = 50.541$$

$$X_{1.63.3} := X_{АмурОп18.3} + X_{Оп18Оп285.3} + \frac{X_{АмурОп18.3} \cdot X_{Оп18Оп285.3}}{X_{1.61.3}} = 85.543$$

$$X_{1.64.3} := X_{1.61.3} + X_{АмурОп18.3} + \frac{X_{1.61.3} \cdot X_{АмурОп18.3}}{X_{Оп18Оп285.3}} = 241.475$$

$$X_{1.65.3} := X_{1.61.3} + X_{Оп18Оп285.3} + \frac{X_{1.61.3} \cdot X_{Оп18Оп285.3}}{X_{АмурОп18.3}} = 4.195 \times 10^3$$

$$X_{1.эквV.3} := \frac{X_{1.62.3} \cdot X_{1.11.3}}{X_{1.62.3} + X_{1.11.3}} = 32.031 \quad X_{1.67.3} := \frac{X_{СОп285Б_т.3} \cdot X_{1.65.3}}{X_{СОп285Б_т.3} + X_{1.65.3}} = 6.883 \times 10^3$$

$$X_{1.66.3} := \frac{X_{1.13.3} \cdot X_{1.64.3}}{X_{1.13.3} + X_{1.64.3}} = 47.787 \quad X_{1.68.3} := \frac{X_{1.63.3} \cdot X_{1.67.3}}{X_{1.63.3} + X_{1.67.3}} = 84.493$$

$$X_{1.эквVI.3} := \frac{X_{1.66.3} \cdot X_{1.68.3}}{X_{1.66.3} + X_{1.68.3}} = 30.524$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная

$$K_{1.5.3} := \frac{X_{1.эквVI.3}}{X_{1.3.3} + X_{1.эквVI.3}} = 0.222 \quad K_{1.14.3} := \frac{X_{1.эквV.3}}{X_{1.10.3} + X_{1.эквV.3}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.5.3} := K_{1.5.3} \cdot I_{1.4.3} = 12.156 \text{ А} \quad I_{1.14.3} := K_{1.14.3} \cdot I_{1.13.3} = 7.223 \text{ А}$$

$$U_{1.5.3} := I_{1.5.3} \cdot X_{1.3.3} = 1.297 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.14.3} := I_{1.14.3} \cdot X_{1.10.3} = 1.445 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$K_{1.6.3} := \frac{X_{1.3.3}}{X_{1.3.3} + X_{1.эквVI.3}} = 0.778 \quad K_{1.15.3} := \frac{X_{1.10.3}}{X_{1.10.3} + X_{1.эквV.3}} = 0.862$$

Ток, протекающий на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$I_{1.6.3} := K_{1.6.3} \cdot I_{1.4.3} = 42.484 \text{ А} \quad I_{1.15.3} := K_{1.15.3} \cdot I_{1.13.3} = 45.099 \text{ А}$$

$$U_{1.6.3} := I_{1.6.3} \cdot X_{1.эквVI.3} = 1.297 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.15.3} := I_{1.15.3} \cdot X_{1.эквV.3} = 1.445 \times 10^3 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$\begin{aligned}
 X_{1.69.3} &:= \frac{X_{CAмурОп18.3} \cdot X_{АмурОп18.3}}{X_{CAмурОп18.3} + X_{АмурОп18.3}} = 4.572 & X_{1.эквVII.3} &:= \frac{X_{1.11.3} \cdot X_{1.69.3}}{X_{1.11.3} + X_{1.69.3}} = 4.246 \\
 X_{1.70.3} &:= X_{Б_рХв.3} + X_{1.7.3} + \frac{X_{Б_рХв.3} \cdot X_{1.7.3}}{X_{1.9.3}} = 665.209 & X_{1.73.3} &:= \frac{X_{CB_рХв.3} \cdot X_{1.10.3}}{X_{CB_рХв.3} + X_{1.10.3}} = 200.376 \\
 X_{1.71.3} &:= X_{1.7.3} + X_{1.9.3} + \frac{X_{1.7.3} \cdot X_{1.9.3}}{X_{Б_рХв.3}} = 5.335 \times 10^3 & X_{1.74.3} &:= \frac{X_{1.8.3} \cdot X_{1.71.3}}{X_{1.8.3} + X_{1.71.3}} = 350.371 \\
 X_{1.72.3} &:= X_{Б_рХв.3} + X_{1.9.3} + \frac{X_{Б_рХв.3} \cdot X_{1.9.3}}{X_{1.7.3}} = 1.169 \times 10^3 & X_{1.75.3} &:= \frac{X_{1.72.3} \cdot X_{1.73.3}}{X_{1.72.3} + X_{1.73.3}} = 171.059 \\
 X_{1.76.3} &:= X_{Хв3мв.3} + X_{1.70.3} + \frac{X_{Хв3мв.3} \cdot X_{1.70.3}}{X_{1.75.3}} = 912.038 \\
 X_{1.77.3} &:= X_{1.70.3} + X_{1.75.3} + \frac{X_{1.70.3} \cdot X_{1.75.3}}{X_{Хв3мв.3}} = 3.09 \times 10^3 & X_{1.79.3} &:= \frac{X_{1.74.3} \cdot X_{1.77.3}}{X_{1.74.3} + X_{1.77.3}} = 314.689 \\
 X_{1.78.3} &:= X_{Хв3мв.3} + X_{1.75.3} + \frac{X_{Хв3мв.3} \cdot X_{1.75.3}}{X_{1.70.3}} = 234.531 & X_{1.80.3} &:= \frac{X_{1.78.3} \cdot X_{CXв3мв.3}}{X_{1.78.3} + X_{CXв3мв.3}} = 235.647 \\
 X_{1.81.3} &:= \frac{X_{1.76.3} \cdot X_{1.80.3}}{X_{1.76.3} + X_{1.80.3}} = 187.263 & X_{1.эквVIII.3} &:= \frac{X_{33} \cdot \frac{X_{1.81.3} \cdot X_{1.79.3}}{X_{1.81.3} + X_{1.79.3}}}{X_{33} + \frac{X_{1.81.3} \cdot X_{1.79.3}}{X_{1.81.3} + X_{1.79.3}}} = 56.132
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Свободный и ПС Завитая:

$$K_{1.7.3} := \frac{X_{1.эквVII.3}}{X_{1.2.3} + X_{1.эквVII.3}} = 0.02 \qquad K_{1.16.3} := \frac{X_{1.эквVIII.3}}{X_{1.11.3} + X_{1.эквVIII.3}} = 0.391$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$\begin{aligned}
 I_{1.7.3} &:= K_{1.7.3} \cdot I_{1.6.3} = 0.829 \text{ А} & I_{1.16.3} &:= K_{1.16.3} \cdot I_{1.15.3} = 17.629 \text{ А} \\
 U_{1.7.3} &:= I_{1.7.3} \cdot X_{1.2.3} = 176.881 \text{ В} & U_{1.16.3} &:= I_{1.16.3} \cdot X_{1.11.3} = 1.542 \times 10^3 \text{ В}
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Амур Оп 18:

$$K_{1.8.3} := \frac{X_{1.2.3}}{X_{1.2.3} + X_{1.эквVII.3}} = 0.98$$

Ток, протекающий на линиях Амур Оп 18:

$$\begin{aligned}
 I_{1.8.3} &:= K_{1.8.3} \cdot I_{1.6.3} = 41.655 \text{ А} \\
 U_{1.8.3} &:= I_{1.8.3} \cdot X_{1.эквVII.3} = 176.881 \text{ В}
 \end{aligned}$$

5 эквивалент

$$X_{1.82.3} := \frac{X_{CAмурОп18.3} \cdot X_{1.2.3}}{X_{CAмурОп18.3} + X_{1.2.3}} = 224.014$$

$$X_{1.83.3} := \frac{X_{COn18On285.3} \cdot X_{1.3.3}}{X_{COn18On285.3} + X_{1.3.3}} = 106.827$$

$$X_{1.84.3} := \frac{X_{COn285B_{\tau.3}} \cdot X_{1.5.3}}{X_{COn285B_{\tau.3}} + X_{1.5.3}} = 946.648$$

$$X_{1.85.3} := X_{AмyрOn18.3} + X_{On18On285.3} + \frac{X_{AмyрOn18.3} \cdot X_{On18On285.3}}{X_{1.83.3}} = 85.543$$

$$X_{1.86.3} := X_{AмyрOn18.3} + X_{1.82.3} + \frac{X_{AмyрOn18.3} \cdot X_{1.82.3}}{X_{On18On285.3}} = 241.475$$

$$X_{1.87.3} := X_{On18On285.3} + X_{1.82.3} + \frac{X_{On18On285.3} \cdot X_{1.82.3}}{X_{AмyрOn18.3}} = 4.195 \times 10^3$$

$$X_{1.88.3} := X_{On285B_{\tau.3}} + X_{1.4.3} + \frac{X_{On285B_{\tau.3}} \cdot X_{1.4.3}}{X_{1.84.3}} = 511.679$$

$$X_{1.89.3} := X_{On285B_{\tau.3}} + X_{1.84.3} + \frac{X_{On285B_{\tau.3}} \cdot X_{1.84.3}}{X_{1.4.3}} = 978.546$$

$$X_{1.90.3} := X_{1.4.3} + X_{1.84.3} + \frac{X_{1.4.3} \cdot X_{1.84.3}}{X_{On285B_{\tau.3}}} = 4.423 \times 10^4$$

$$X_{1.91.3} := \frac{X_{1.87.3} \cdot X_{1.83.3} \cdot X_{1.89.3}}{X_{1.87.3} \cdot X_{1.83.3} + X_{1.87.3} \cdot X_{1.89.3} + X_{1.83.3} \cdot X_{1.89.3}} = 94.151$$

$$X_{1.92.3} := \frac{X_{1.90.3} \cdot X_{1.6.3}}{X_{1.90.3} + X_{1.6.3}} = 371.847$$

$$X_{1.93.3} := X_{1.85.3} + X_{1.88.3} + \frac{X_{1.85.3} \cdot X_{1.88.3}}{X_{1.91.3}} = 1.062 \times 10^3$$

$$X_{1.94.3} := X_{1.85.3} + X_{1.91.3} + \frac{X_{1.85.3} \cdot X_{1.91.3}}{X_{1.88.3}} = 195.434$$

$$X_{1.96.3} := \frac{X_{1.86.3} \cdot X_{1.94.3}}{X_{1.86.3} + X_{1.94.3}} = 108.014$$

$$X_{1.95.3} := X_{1.88.3} + X_{1.91.3} + \frac{X_{1.88.3} \cdot X_{1.91.3}}{X_{1.85.3}} = 1.169 \times 10^3$$

$$X_{1.97.3} := \frac{X_{1.95.3} \cdot X_{1.92.3}}{X_{1.95.3} + X_{1.92.3}} = 282.111$$

$$X_{1.98.3} := \frac{X_{1.93.3} \cdot X_{1.97.3}}{X_{1.93.3} + X_{1.97.3}} = 222.905$$

$$X_{1.эвдГХ.3} := \frac{X_3 \cdot \frac{X_{1.98.3} \cdot X_{1.96.3}}{X_{1.98.3} + X_{1.96.3}}}{X_3 + \frac{X_{1.98.3} \cdot X_{1.96.3}}{X_{1.98.3} + X_{1.96.3}}} = 40.159$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{1.9.3} := \frac{X_{1.эвдГХ.3}}{X_{1.1.3} + X_{1.эвдГХ.3}} = 0.403$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{1.9.3} := K_{1.9.3} \cdot I_{1.8.3} = 16.772 \text{ А}$$

$$U_{1.9.3} := I_{1.9.3} \cdot X_{1.1.3} = 999.266 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 5 гармонике:

$$n_1 := 5$$

$$X_{CA\text{муп}O\text{н}18.5} := \frac{-(3.46 + 0.04)}{n_1 \cdot b_{\text{уд}240}} = -2.692 \times 10^3$$

$$X_{1.1.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B1} \cdot n_1 \cdot X_{H1}}{n_1 \cdot X_{R1} + n_1 \cdot X_{H1}} = 99.296$$

$$X_{CO\text{н}18O\text{н}285.5} := \frac{-(60.74 + 0.07)}{n_1 \cdot b_{\text{уд}240}} = -4.678 \times 10^4$$

$$X_{1.2.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B2} \cdot n_1 \cdot X_{H2}}{n_1 \cdot X_{B2} + n_1 \cdot X_{H2}} = 355.603$$

$$X_{CO\text{н}285B_{\tau.5}} := \frac{-8.51}{n_1 \cdot b_{\text{уд}300}} = -6.447 \times 10^3$$

$$X_{1.3.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B5} \cdot n_1 \cdot X_{H5}}{n_1 \cdot X_{B5} + n_1 \cdot X_{H5}} = 177.802$$

$$X_{CB_{\tau}Xa.5} := \frac{-(82.24 + 0.89)}{n_1 \cdot b_{\text{уд}240}} = -6.395 \times 10^4$$

$$X_{1.10.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B7} \cdot n_1 \cdot X_{H7}}{n_1 \cdot X_{R7} + n_1 \cdot X_{H7}} = 333.333$$

$$X_{CXa3aB.5} := \frac{-39.23}{n_1 \cdot b_{\text{уд}300}} = -2.972 \times 10^4$$

$$X_{1.11.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B8} \cdot n_1 \cdot X_{H8}}{n_1 \cdot X_{R8} + n_1 \cdot X_{H8}} = 145.774$$

$$X_{A\text{муп}O\text{н}18.5} := n_1 \cdot X_{\text{уд}240} \cdot (3.46 + 0.04) = 7.612$$

$$X_{1.4.5} := n_1 \cdot X_{B3} + n_1 \cdot X_{C3} + \frac{n_1 \cdot X_{B3} \cdot n_1 \cdot X_{C3}}{n_1 \cdot X_{H3}} = 825$$

$$X_{O\text{н}18O\text{н}285.5} := n_1 \cdot X_{\text{уд}240} \cdot (60.74 + 0.07) = 132.262$$

$$X_{1.5.5} := n_1 \cdot X_{B3} + n_1 \cdot X_{H3} = 1.45 \times 10^3$$

$$X_{O\text{н}285B_{\tau.5}} := n_1 \cdot X_{\text{уд}300} \cdot 8.51 = 18.254$$

$$X_{B_{\tau}Xa.5} := n_1 \cdot X_{\text{уд}240} \cdot (82.24 + 0.89) = 180.808$$

$$X_{1.6.5} := n_1 \cdot X_{H3} + n_1 \cdot X_{C3} + \frac{n_1 \cdot X_{H3} \cdot n_1 \cdot X_{C3}}{n_1 \cdot X_{B3}} = 625$$

$$X_{Xa3aB.5} := n_1 \cdot X_{\text{уд}300} \cdot 39.23 = 84.148$$

$$X_{1.7.5} := n_1 \cdot X_{B3} + n_1 \cdot X_{C3} + \frac{n_1 \cdot X_{B3} \cdot n_1 \cdot X_{C3}}{n_1 \cdot X_{H3}} = 825$$

$$X_{1.8.5} := n_1 \cdot X_{H3} + n_1 \cdot X_{C3} + \frac{n_1 \cdot X_{H3} \cdot n_1 \cdot X_{C3}}{n_1 \cdot X_{B3}} = 625 \quad X_{1.9.5} := n_1 \cdot X_{B3} + n_1 \cdot X_{H3} = 1.45 \times 10^3$$

1 эквивалент

$$X_{1.12.5} := \frac{X_{CA\text{муп}O\text{н}18.5} \cdot X_{1.2.5}}{X_{CA\text{муп}O\text{н}18.5} + X_{1.2.5}} = 409.72$$

$$X_{1.14.5} := \frac{X_{CO\text{н}285B_{\tau.5}} \cdot X_{1.5.5}}{X_{CO\text{н}285B_{\tau.5}} + X_{1.5.5}} = 1.871 \times 10^3$$

$$X_{1.13.5} := \frac{X_{CO\text{н}18O\text{н}285.5} \cdot X_{1.3.5}}{X_{CO\text{н}18O\text{н}285.5} + X_{1.3.5}} = 178.48$$

$$X_{1.15.5} := \frac{X_{CB_{\tau}Xa.5} \cdot X_{1.10.5}}{X_{CB_{\tau}Xa.5} + X_{1.10.5}} = 335.08$$

$$X_{1.16.5} := \frac{X_{CXa3aB.5} \cdot X_{1.11.5}}{X_{CXa3aB.5} + X_{1.11.5}} = 146.492$$

$$X_{1.17.5} := X_{A\text{муп}O\text{н}18.5} + X_{O\text{н}18O\text{н}285.5} + \frac{X_{A\text{муп}O\text{н}18.5} \cdot X_{O\text{н}18O\text{н}285.5}}{X_{1.12.5}} = 142.332$$

$$X_{1.18.5} := X_{A\text{муп}O\text{н}18.5} + X_{1.12.5} + \frac{X_{A\text{муп}O\text{н}18.5} \cdot X_{1.12.5}}{X_{O\text{н}18O\text{н}285.5}} = 440.914$$

$$X_{1.19.5} := X_{O\text{н}18O\text{н}285.5} + X_{1.12.5} + \frac{X_{O\text{н}18O\text{н}285.5} \cdot X_{1.12.5}}{X_{A\text{муп}O\text{н}18.5}} = 7.661 \times 10^3$$

$$X_{1.20.5} := X_{O\text{н}285B_{\tau.5}} + X_{1.4.5} + \frac{X_{O\text{н}285B_{\tau.5}} \cdot X_{1.4.5}}{X_{1.14.5}} = 851.304$$

$$\begin{aligned}
 X_{1.21.5} &:= X_{\text{От}285\text{Б}_\tau 5} + X_{1.14.5} + \frac{X_{\text{От}285\text{Б}_\tau 5} \cdot X_{1.14.5}}{X_{1.4.5}} = 1.93 \times 10^3 \\
 X_{1.22.5} &:= X_{1.4.5} + X_{1.14.5} + \frac{X_{1.4.5} \cdot X_{1.14.5}}{X_{\text{От}285\text{Б}_\tau 5}} = 8.725 \times 10^4 \\
 X_{1.23.5} &:= X_{1.7.5} + X_{\text{Б}_\tau \text{Хв} 5} + \frac{X_{1.7.5} \cdot X_{\text{Б}_\tau \text{Хв} 5}}{X_{1.0.5}} = 1.109 \times 10^3 \\
 X_{1.24.5} &:= X_{1.9.5} + X_{1.7.5} + \frac{X_{1.9.5} \cdot X_{1.7.5}}{X_{\text{Б}_\tau \text{Хв} 5}} = 8.891 \times 10^3 \\
 X_{1.25.5} &:= X_{1.9.5} + X_{\text{Б}_\tau \text{Хв} 5} + \frac{X_{1.9.5} \cdot X_{\text{Б}_\tau \text{Хв} 5}}{X_{1.7.5}} = 1.949 \times 10^3 \\
 X_{1.26.5} &:= \frac{X_{1.1.5} \cdot X_{1.18.5}}{X_{1.1.5} + X_{1.18.5}} = 81.045 \\
 X_{1.27.5} &:= \frac{X_{1.19.5} \cdot X_{1.13.5} \cdot X_{1.21.5}}{X_{1.10.5} \cdot X_{1.13.5} + X_{1.10.5} \cdot X_{1.21.5} + X_{1.13.5} \cdot X_{1.21.5}} = 159.963 \\
 X_{1.28.5} &:= \frac{X_{1.25.5} \cdot X_{1.15.5}}{X_{1.25.5} + X_{1.15.5}} = 285.914 \\
 X_{1.29.5} &:= X_{1.17.5} + X_{1.20.5} + \frac{X_{1.17.5} \cdot X_{1.20.5}}{X_{1.27.5}} = 1.751 \times 10^3 \\
 X_{1.30.5} &:= X_{1.27.5} + X_{1.17.5} + \frac{X_{1.27.5} \cdot X_{1.17.5}}{X_{1.20.5}} = 329.04 \\
 X_{1.31.5} &:= X_{1.27.5} + X_{1.20.5} + \frac{X_{1.27.5} \cdot X_{1.20.5}}{X_{1.17.5}} = 1.968 \times 10^3 \\
 X_{1.35.5} &:= \frac{X_{1.26.5} \cdot X_{1.30.5}}{X_{1.26.5} + X_{1.30.5}} = 65.028 \\
 X_{1.32.5} &:= X_{1.23.5} + X_{\text{Хв}3\text{ав} 5} + \frac{X_{1.23.5} \cdot X_{\text{Хв}3\text{ав} 5}}{X_{1.28.5}} = 1.519 \times 10^3 \\
 X_{1.36.5} &:= \frac{X_{1.22.5} \cdot X_{1.31.5}}{X_{1.22.5} + X_{1.31.5}} = 1.925 \times 10^3 \\
 X_{1.33.5} &:= X_{1.28.5} + X_{1.23.5} + \frac{X_{1.28.5} \cdot X_{1.23.5}}{X_{\text{Хв}3\text{ав} 5}} = 5.162 \times 10^3 \\
 X_{1.37.5} &:= \frac{X_{1.24.5} \cdot X_{1.33.5}}{X_{1.24.5} + X_{1.33.5}} = 3.266 \times 10^3 \\
 X_{1.34.5} &:= X_{1.28.5} + X_{\text{Хв}3\text{ав} 5} + \frac{X_{1.28.5} \cdot X_{\text{Хв}3\text{ав} 5}}{X_{1.23.5}} = 391.763 \\
 X_{1.38.5} &:= \frac{X_{1.16.5} \cdot X_{1.34.5}}{X_{1.16.5} + X_{1.34.5}} = 106.623 \\
 X_{1.39.5} &:= \frac{X_{1.29.5} \cdot X_{1.36.5}}{X_{1.29.5} + X_{1.36.5}} = 916.883 \\
 X_{1.40.5} &:= \frac{X_{1.32.5} \cdot X_{1.37.5}}{X_{1.32.5} + X_{1.37.5}} = 1.037 \times 10^3 \\
 X_{1.эквI.5} &:= \frac{X_{1.35.5} \cdot X_{1.39.5}}{X_{1.35.5} + X_{1.39.5}} = 60.721 \\
 X_{1.эквII.5} &:= \frac{X_{1.38.5} \cdot X_{1.40.5}}{X_{1.38.5} + X_{1.40.5}} = 96.681
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на X6 и X8:

$$K_{1.1.5} := \frac{X_{1.эквI.5}}{X_{1.6.5} + X_{1.эквI.5}} = 0.089 \qquad K_{1.10.5} := \frac{X_{1.эквII.5}}{X_{1.8.5} + X_{1.эквII.5}} = 0.134$$

Ток, протекающий на X6 и X8:

$$\begin{aligned}
 I_{1.1.5} &:= K_{1.1.5} \cdot I_1 = 5.457 \text{ А} & I_{1.10.5} &:= K_{1.10.5} \cdot I_1 = 8.256 \text{ А} \\
 U_{1.1.5} &:= I_{1.1.5} \cdot X_{1.6.5} = 3.411 \times 10^3 \text{ В} & U_{1.10.5} &:= I_{1.10.5} \cdot X_{1.8.5} = 5.16 \times 10^3 \text{ В}
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на X4 и X7:

$$K_{1.2.5} := \frac{X_{1.6.5}}{X_{1.6.5} + X_{1.эквI.5}} = 0.911 \qquad K_{1.11.5} := \frac{X_{1.7.5}}{X_{1.7.5} + X_{1.эквII.5}} = 0.895$$

Ток, протекающий на X4 и X7:

$$\begin{aligned}
 I_{1.2.5} &:= K_{1.2.5} \cdot I_1 = 56.173 \text{ А} & I_{1.11.5} &:= K_{1.11.5} \cdot I_1 = 55.165 \text{ А} \\
 U_{1.2.5} &:= I_{1.2.5} \cdot X_{1.эквI.5} = 3.411 \times 10^3 \text{ В} & U_{1.11.5} &:= I_{1.11.5} \cdot X_{1.эквII.5} = 5.333 \times 10^3 \text{ В}
 \end{aligned}$$

2 эквивалент

$$\begin{aligned}
 X_{1.41.5} &:= \frac{X_{CAмурОн18.5} \cdot X_{1.2.5}}{X_{CAмурОн18.5} + X_{1.2.5}} = 409.72 & X_{1.43.5} &:= \frac{X_{CB_тХв.5} \cdot X_{1.10.5}}{X_{CB_тХв.5} + X_{1.10.5}} = 335.08 \\
 X_{1.42.5} &:= \frac{X_{COн18Он285.5} \cdot X_{1.3.5}}{X_{COн18Он285.5} + X_{1.3.5}} = 178.48 & X_{1.44.5} &:= \frac{X_{CXв3ав.5} \cdot X_{1.11.5}}{X_{CXв3ав.5} + X_{1.11.5}} = 146.492 \\
 X_{1.45.5} &:= X_{Он285Б_т.5} + X_{Он18Он285.5} + \frac{X_{Он285Б_т.5} \cdot X_{Он18Он285.5}}{X_{1.42.5}} = 164.043 \\
 X_{1.46.5} &:= X_{Он18Он285.5} + X_{1.42.5} + \frac{X_{Он18Он285.5} \cdot X_{1.42.5}}{X_{Он285Б_т.5}} = 1.604 \times 10^3 \\
 X_{1.47.5} &:= X_{Он285Б_т.5} + X_{1.42.5} + \frac{X_{Он285Б_т.5} \cdot X_{1.42.5}}{X_{Он18Он285.5}} = 221.367 \\
 X_{1.48.5} &:= X_{Б_тХв.5} + X_{Хв3ав.5} + \frac{X_{Б_тХв.5} \cdot X_{Хв3ав.5}}{X_{1.43.5}} = 310.362 \\
 X_{1.49.5} &:= X_{Б_тХв.5} + X_{1.43.5} + \frac{X_{Б_тХв.5} \cdot X_{1.43.5}}{X_{Хв3ав.5}} = 1.236 \times 10^3 \\
 X_{1.50.5} &:= X_{Хв3ав.5} + X_{1.43.5} + \frac{X_{Хв3ав.5} \cdot X_{1.43.5}}{X_{Б_тХв.5}} = 575.175 & X_{1.52.5} &:= \frac{X_{COн285Б_т.5} \cdot X_{1.47.5}}{X_{COн285Б_т.5} + X_{1.47.5}} = 229.238 \\
 X_{1.51.5} &:= \frac{X_{1.41.5} \cdot X_{1.46.5}}{X_{1.41.5} + X_{1.46.5}} = 326.354 & X_{1.53.5} &:= \frac{X_{1.50.5} \cdot X_{1.44.5}}{X_{1.50.5} + X_{1.44.5}} = 116.756 \\
 X_{1.54.5} &:= X_{АмурОн18.5} + X_{1.45.5} + \frac{X_{АмурОн18.5} \cdot X_{1.45.5}}{X_{1.51.5}} = 175.482 \\
 X_{1.55.5} &:= X_{АмурОн18.5} + X_{1.51.5} + \frac{X_{АмурОн18.5} \cdot X_{1.51.5}}{X_{1.45.5}} = 349.111 \\
 X_{1.56.5} &:= X_{1.51.5} + X_{1.45.5} + \frac{X_{1.51.5} \cdot X_{1.45.5}}{X_{АмурОн18.5}} = 7.523 \times 10^3 \\
 X_{1.57.5} &:= \frac{X_{1.48.5} \cdot X_{1.49.5}}{X_{1.48.5} + X_{1.49.5}} = 248.066 & X_{1.59.5} &:= \frac{X_{1.56.5} \cdot X_{1.52.5}}{X_{1.56.5} + X_{1.52.5}} = 222.459 \\
 X_{1.58.5} &:= \frac{X_{1.1.5} \cdot X_{1.55.5}}{X_{1.1.5} + X_{1.55.5}} = 77.308 & X_{1.эвIII.5} &:= \frac{X_{1.57.5} \cdot X_{1.53.5}}{X_{1.57.5} + X_{1.53.5}} = 79.39 \\
 X_{1.60.5} &:= \frac{X_{1.59.5} \cdot X_{1.54.5}}{X_{1.59.5} + X_{1.54.5}} = 98.099 & X_{1.эвIV.5} &:= \frac{X_{1.58.5} \cdot X_{1.60.5}}{X_{1.58.5} + X_{1.60.5}} = 43.236
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на X5 и X9

$$K_{1.3.5} := \frac{X_{1.эвIV.5}}{X_{1.5.5} + X_{1.эвIV.5}} = 0.029 \qquad K_{1.12.5} := \frac{X_{1.эвIII.5}}{X_{1.9.5} + X_{1.эвIII.5}} = 0.052$$

Ток, протекающий на X5 и X9:

$$I_{1.3.5} := K_{1.3.5} \cdot I_{1.2.5} = 1.626 \text{ А} \qquad I_{1.12.5} := K_{1.12.5} \cdot I_{1.11.5} = 2.864 \text{ А}$$

$$U_{1.3.5} := I_{1.3.5} \cdot X_{1.5.5} = 2.358 \times 10^3 \text{ В} \qquad U_{1.12.5} := I_{1.12.5} \cdot X_{1.9.5} = 4.152 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Он285 Бел/т и Бел/тХв:

$$K_{1.4.5} := \frac{X_{1.5.5}}{X_{1.5.5} + X_{1.эвIV.5}} = 0.971 \qquad K_{1.13.5} := \frac{X_{1.9.5}}{X_{1.9.5} + X_{1.эвIII.5}} = 0.948$$

Ток, протекающий на линиях Оп285Бел/т и Бел/тХв:

$$I_{1.4.5} := K_{1.4.5} \cdot I_{1.2.5} = 54.546 \text{ А} \quad I_{1.13.5} := K_{1.13.5} \cdot I_{1.11.5} = 52.302 \text{ А}$$

$$U_{1.4.5} := I_{1.4.5} \cdot X_{1.эквIV.5} = 2.358 \times 10^3 \quad \text{В} \quad U_{1.13.5} := I_{1.13.5} \cdot X_{1.эквIII.5} = 4.152 \times 10^3 \quad \text{В}$$

3 эквивалент

$$X_{1.61.5} := \frac{X_{САмурОп18.5} \cdot X_{1.2.5}}{X_{САмурОп18.5} + X_{1.2.5}} = 409.72$$

$$X_{1.62.5} := \frac{X_{ХвЗав.5} \cdot X_{СХвЗав.5}}{X_{ХвЗав.5} + X_{СХвЗав.5}} = 84.387$$

$$X_{1.63.5} := X_{АмурОп18.5} + X_{Оп18Оп285.5} + \frac{X_{АмурОп18.5} \cdot X_{Оп18Оп285.5}}{X_{1.61.5}} = 142.332$$

$$X_{1.64.5} := X_{1.61.5} + X_{АмурОп18.5} + \frac{X_{1.61.5} \cdot X_{АмурОп18.5}}{X_{1.61.5}} = 440.914$$

$$X_{1.65.5} := X_{1.61.5} + X_{Оп18Оп285.5} + \frac{X_{1.61.5} \cdot X_{Оп18Оп285.5}}{X_{АмурОп18.5}} = 7.661 \times 10^3$$

$$X_{1.эквV.5} := \frac{X_{1.62.5} \cdot X_{1.11.5}}{X_{1.62.5} + X_{1.11.5}} = 53.447 \quad X_{1.67.5} := \frac{X_{СОп285Б.т.5} \cdot X_{1.65.5}}{X_{СОп285Б.т.5} + X_{1.65.5}} = -4.07 \times 10^4$$

$$X_{1.66.5} := \frac{X_{1.1.5} \cdot X_{1.64.5}}{X_{1.1.5} + X_{1.64.5}} = 81.045 \quad X_{1.68.5} := \frac{X_{1.63.5} \cdot X_{1.67.5}}{X_{1.63.5} + X_{1.67.5}} = 142.831$$

$$X_{1.эквVI.5} := \frac{X_{1.66.5} \cdot X_{1.68.5}}{X_{1.66.5} + X_{1.68.5}} = 51.706$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная

$$K_{1.5.5} := \frac{X_{1.эквVI.5}}{X_{1.3.5} + X_{1.эквVI.5}} = 0.225 \quad K_{1.14.5} := \frac{X_{1.эквV.5}}{X_{1.10.5} + X_{1.эквV.5}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.5.5} := K_{1.5.5} \cdot I_{1.4.5} = 12.289 \text{ А} \quad I_{1.14.5} := K_{1.14.5} \cdot I_{1.13.5} = 7.227 \text{ А}$$

$$U_{1.5.5} := I_{1.5.5} \cdot X_{1.3.5} = 2.185 \times 10^3 \quad \text{В} \quad U_{1.14.5} := I_{1.14.5} \cdot X_{1.10.5} = 2.409 \times 10^3 \quad \text{В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$K_{1.6.5} := \frac{X_{1.3.5}}{X_{1.3.5} + X_{1.эквVI.5}} = 0.775 \quad K_{1.15.5} := \frac{X_{1.10.5}}{X_{1.10.5} + X_{1.эквV.5}} = 0.862$$

Ток, протекающий на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$I_{1.6.5} := K_{1.6.5} \cdot I_{1.4.5} = 42.257 \text{ А} \quad I_{1.15.5} := K_{1.15.5} \cdot I_{1.13.5} = 45.074 \text{ А}$$

$$U_{1.6.5} := I_{1.6.5} \cdot X_{1.эквVI.5} = 2.185 \times 10^3 \quad \text{В} \quad U_{1.15.5} := I_{1.15.5} \cdot X_{1.эквV.5} = 2.409 \times 10^3 \quad \text{В}$$

4 эквивалент

$$X_{1.69.5} := \frac{X_{САмурОп18.5} \cdot X_{АмурОп18.5}}{X_{САмурОп18.5} + X_{АмурОп18.5}} = 7.634$$

$$X_{1.эквVII.5} := \frac{X_{1.1.5} \cdot X_{1.69.5}}{X_{1.1.5} + X_{1.69.5}} = 7.089$$

$$X_{1.70.5} := X_{Б.тХв.5} + X_{1.7.5} + \frac{X_{Б.тХв.5} \cdot X_{1.7.5}}{X_{1.9.5}} = 1.109 \times 10^3$$

$$\begin{aligned}
 X_{1.71.5} &:= X_{1.7.5} + X_{1.9.5} + \frac{X_{1.7.5} \cdot X_{1.9.5}}{X_{Б\text{тХв.5}}} = 8.891 \times 10^3 \\
 X_{1.72.5} &:= X_{Б\text{тХв.5}} + X_{1.9.5} + \frac{X_{Б\text{тХв.5}} \cdot X_{1.9.5}}{X_{1.7.5}} = 1.949 \times 10^3 \\
 X_{1.73.5} &:= \frac{X_{СБ\text{тХв.5}} \cdot X_{1.10.5}}{X_{СБ\text{тХв.5}} + X_{1.10.5}} = 335.08 \quad X_{1.74.5} := \frac{X_{1.8.5} \cdot X_{1.71.5}}{X_{1.8.5} + X_{1.71.5}} = 583.951 \\
 X_{1.75.5} &:= \frac{X_{1.72.5} \cdot X_{1.73.5}}{X_{1.72.5} + X_{1.73.5}} = 285.914 \\
 X_{1.76.5} &:= X_{Хв3лв.5} + X_{1.70.5} + \frac{X_{Хв3лв.5} \cdot X_{1.70.5}}{X_{1.75.5}} = 1.519 \times 10^3 \\
 X_{1.77.5} &:= X_{1.70.5} + X_{1.75.5} + \frac{X_{1.70.5} \cdot X_{1.75.5}}{X_{Хв3лв.5}} = 5.162 \times 10^3 \quad X_{1.79.5} := \frac{X_{1.74.5} \cdot X_{1.77.5}}{X_{1.74.5} + X_{1.77.5}} = 524.601 \\
 X_{1.78.5} &:= X_{Хв3лв.5} + X_{1.75.5} + \frac{X_{Хв3лв.5} \cdot X_{1.75.5}}{X_{1.70.5}} = 391.763 \quad X_{1.80.5} := \frac{X_{1.78.5} \cdot X_{СХв3лв.5}}{X_{1.78.5} + X_{СХв3лв.5}} = 396.996 \\
 X_{1.81.5} &:= \frac{X_{1.76.5} \cdot X_{1.80.5}}{X_{1.76.5} + X_{1.80.5}} = 314.744 \\
 X_{1.эвVIII.5} &:= \frac{X_{35} \cdot \frac{X_{1.81.5} \cdot X_{1.79.5}}{X_{1.81.5} + X_{1.79.5}}}{X_{35} + \frac{X_{1.81.5} \cdot X_{1.79.5}}{X_{1.81.5} + X_{1.79.5}}} = 66.593
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС С вободный и ПС Завитая:

$$K_{1.7.5} := \frac{X_{1.эвVIII.5}}{X_{1.2.5} + X_{1.эвVIII.5}} = 0.02 \quad K_{1.16.5} := \frac{X_{1.эвVIII.5}}{X_{1.11.5} + X_{1.эвVIII.5}} = 0.314$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$\begin{aligned}
 I_{1.7.5} &:= K_{1.7.5} \cdot I_{1.6.5} = 0.826 \text{ А} \quad I_{1.16.5} := K_{1.16.5} \cdot I_{1.15.5} = 14.134 \text{ А} \\
 U_{1.7.5} &:= I_{1.7.5} \cdot X_{1.2.5} = 293.71 \text{ В} \quad U_{1.16.5} := I_{1.16.5} \cdot X_{1.11.5} = 2.06 \times 10^3 \text{ В}
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Амур Оп18:

$$K_{1.8.5} := \frac{X_{1.2.5}}{X_{1.2.5} + X_{1.эвVIII.5}} = 0.98$$

Ток, протекающий на линиях Амур Оп18:

$$\begin{aligned}
 I_{1.8.5} &:= K_{1.8.5} \cdot I_{1.6.5} = 41.431 \text{ А} \\
 U_{1.8.5} &:= I_{1.8.5} \cdot X_{1.эвVIII.5} = 293.71 \text{ В}
 \end{aligned}$$

5 эквивалент

$$\begin{aligned}
 X_{1.82.5} &:= \frac{X_{С\text{АмурОп18.5}} \cdot X_{1.2.5}}{X_{С\text{АмурОп18.5}} + X_{1.2.5}} = 409.72 \\
 X_{1.83.5} &:= \frac{X_{С\text{Оп18Оп285.5}} \cdot X_{1.3.5}}{X_{С\text{Оп18Оп285.5}} + X_{1.3.5}} = 178.48 \\
 X_{1.84.5} &:= \frac{X_{С\text{Оп285Б.т.5}} \cdot X_{1.5.5}}{X_{С\text{Оп285Б.т.5}} + X_{1.5.5}} = 1.871 \times 10^3
 \end{aligned}$$

$$X_{1.85.5} := X_{\text{АмурОп18.5}} + X_{\text{Оп18Оп285.5}} + \frac{X_{\text{АмурОп18.5}} \cdot X_{\text{Оп18Оп285.5}}}{X_{1.82.5}} = 142.332$$

$$X_{1.86.5} := X_{\text{АмурОп18.5}} + X_{1.82.5} + \frac{X_{\text{АмурОп18.5}} \cdot X_{1.82.5}}{X_{\text{Оп18Оп285.5}}} = 440.914$$

$$X_{1.87.5} := X_{\text{Оп18Оп285.5}} + X_{1.82.5} + \frac{X_{\text{Оп18Оп285.5}} \cdot X_{1.82.5}}{X_{\text{АмурОп18.5}}} = 7.661 \times 10^3$$

$$X_{1.88.5} := X_{\text{Оп285Б}_\tau.5} + X_{1.4.5} + \frac{X_{\text{Оп285Б}_\tau.5} \cdot X_{1.4.5}}{X_{1.84.5}} = 851.304$$

$$X_{1.89.5} := X_{\text{Оп285Б}_\tau.5} + X_{1.84.5} + \frac{X_{\text{Оп285Б}_\tau.5} \cdot X_{1.84.5}}{X_{1.4.5}} = 1.93 \times 10^3$$

$$X_{1.90.5} := X_{1.4.5} + X_{1.84.5} + \frac{X_{1.4.5} \cdot X_{1.84.5}}{X_{\text{Оп285Б}_\tau.5}} = 8.725 \times 10^4$$

$$X_{1.91.5} := \frac{X_{1.87.5} \cdot X_{1.83.5} \cdot X_{1.89.5}}{X_{1.87.5} \cdot X_{1.83.5} + X_{1.87.5} \cdot X_{1.89.5} + X_{1.83.5} \cdot X_{1.89.5}} = 159.963$$

$$X_{1.92.5} := \frac{X_{1.90.5} \cdot X_{1.6.5}}{X_{1.90.5} + X_{1.6.5}} = 620.555$$

$$X_{1.93.5} := X_{1.85.5} + X_{1.88.5} + \frac{X_{1.85.5} \cdot X_{1.88.5}}{X_{1.01.5}} = 1.751 \times 10^3$$

$$X_{1.94.5} := X_{1.85.5} + X_{1.91.5} + \frac{X_{1.85.5} \cdot X_{1.91.5}}{X_{1.88.5}} = 329.04$$

$$X_{1.96.5} := \frac{X_{1.86.5} \cdot X_{1.94.5}}{X_{1.86.5} + X_{1.94.5}} = 188.425$$

$$X_{1.95.5} := X_{1.88.5} + X_{1.91.5} + \frac{X_{1.88.5} \cdot X_{1.91.5}}{X_{1.85.5}} = 1.968 \times 10^3$$

$$X_{1.97.5} := \frac{X_{1.95.5} \cdot X_{1.92.5}}{X_{1.95.5} + X_{1.92.5}} = 471.791$$

$$X_{1.98.5} := \frac{X_{1.93.5} \cdot X_{1.97.5}}{X_{1.93.5} + X_{1.97.5}} = 371.657$$

$$X_5 \cdot \frac{X_{1.98.5} \cdot X_{1.96.5}}{X_{1.98.5} + X_{1.96.5}} = 50.206$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{1.9.5} := \frac{X_{1.эвIX.5}}{X_{1.1.5} + X_{1.эвIX.5}} = 0.336$$

$$X_5 + \frac{X_{1.98.5} \cdot X_{1.96.5}}{X_{1.98.5} + X_{1.96.5}}$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{1.0.5} := K_{1.0.5} \cdot I_{1.9.5} = 13.914 \text{ А}$$

$$U_{1.9.5} := I_{1.9.5} \cdot X_{1.1.5} = 1.382 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 7 гармонике:

$$n_2 := 7$$

$$X_{\text{САмурОп18.7}} := \frac{-(3.46 + 0.04)}{n_2 \cdot b_{\text{уд240}}} = -1.923 \times 10^3 \quad X_{\text{АмурОп18.7}} := n_2 \cdot X_{\text{уд240}} \cdot (3.46 + 0.04) = 10.657$$

$$X_{\text{COп18Оп285.7}} := \frac{-(60.74 + 0.07)}{n_2 \cdot b_{\text{уд240}}} = -3.341 \times 10^4 \quad X_{\text{Оп18Оп285.7}} := n_2 \cdot X_{\text{уд240}} \cdot (60.74 + 0.07) = 185.166$$

$$X_{\text{Оп285Б}_\tau.7} := n_2 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 8.51 = 25.556$$

$$\begin{aligned}
 X_{\text{COm285B}_\tau.7} &:= \frac{-8.51}{n_2 \cdot b_{\text{уд}300}} = -4.605 \times 10^3 & X_{\text{Б}_\tau X_{\text{в}7}} &:= n_2 \cdot X_{\text{уд}240} \cdot (82.24 + 0.89) = 253.131 \\
 X_{\text{СБ}_\tau X_{\text{в}7}} &:= \frac{-(82.24 + 0.89)}{n_2 \cdot b_{\text{уд}240}} = -4.568 \times 10^4 & X_{\text{Хв}3\text{ав}7} &:= n_2 \cdot X_{\text{уд}300} \cdot 39.23 = 117.808 \\
 X_{\text{СХв}3\text{ав}7} &:= \frac{-39.23}{n_2 \cdot b_{\text{вд}300}} = -2.123 \times 10^4 & X_{1.1.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{\text{Б}1} \cdot n_2 \cdot X_{\text{Н}1}}{n_2 \cdot X_{\text{Р}1} + n_2 \cdot X_{\text{Н}1}} = 139.015 \\
 X_{1.10.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{\text{Б}7} \cdot n_2 \cdot X_{\text{Н}7}}{n_2 \cdot X_{\text{Б}7} + n_2 \cdot X_{\text{Н}7}} = 466.667 & X_{1.2.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{\text{Б}2} \cdot n_2 \cdot X_{\text{Н}2}}{n_2 \cdot X_{\text{Б}2} + n_2 \cdot X_{\text{Н}2}} = 497.845 \\
 X_{1.11.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{\text{Б}8} \cdot n_2 \cdot X_{\text{Н}8}}{n_2 \cdot X_{\text{Б}8} + n_2 \cdot X_{\text{Н}8}} = 204.083 & X_{1.3.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{\text{Б}5} \cdot n_2 \cdot X_{\text{Н}5}}{n_2 \cdot X_{\text{Б}5} + n_2 \cdot X_{\text{Н}5}} = 248.922 \\
 X_{1.4.7} &:= n_2 X_{\text{Б}3} + n_2 \cdot X_{\text{С}3} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{Б}3} \cdot n_2 \cdot X_{\text{С}3}}{n_2 \cdot X_{\text{Н}3}} = 1.155 \times 10^3 \\
 X_{1.5.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{Б}3} + n_2 \cdot X_{\text{Н}3} = 2.03 \times 10^3 \\
 X_{1.6.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{Н}3} + n_2 \cdot X_{\text{С}3} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{Н}3} \cdot n_2 \cdot X_{\text{С}3}}{n_2 \cdot X_{\text{Р}3}} = 875 \\
 X_{1.7.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{Б}3} + n_2 \cdot X_{\text{С}3} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{Б}3} \cdot n_2 \cdot X_{\text{С}3}}{n_2 \cdot X_{\text{Н}3}} = 1.155 \times 10^3 \\
 X_{1.8.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{Н}3} + n_2 \cdot X_{\text{С}3} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{Н}3} \cdot n_2 \cdot X_{\text{С}3}}{n_2 \cdot X_{\text{Б}3}} = 875 & X_{1.9.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{Б}3} + n_2 \cdot X_{\text{Н}3} = 2.03 \times 10^3
 \end{aligned}$$

1 эквивалент

$$\begin{aligned}
 X_{1.12.7} &:= \frac{X_{\text{САзурОм}18.7} \cdot X_{1.2.7}}{X_{\text{САзурОм}18.7} + X_{1.2.7}} = 671.746 & X_{1.15.7} &:= \frac{X_{\text{СБ}_\tau X_{\text{в}7}} \cdot X_{1.10.7}}{X_{\text{СБ}_\tau X_{\text{в}7}} + X_{1.10.7}} = 471.484 \\
 X_{1.13.7} &:= \frac{X_{\text{COm18Om285.7}} \cdot X_{1.3.7}}{X_{\text{COm18Om285.7}} + X_{1.3.7}} = 250.791 & X_{1.16.7} &:= \frac{X_{\text{СХв}3\text{ав}7} \cdot X_{1.11.7}}{X_{\text{СХв}3\text{ав}7} + X_{1.11.7}} = 206.064 \\
 X_{1.14.7} &:= \frac{X_{\text{COm285B}_\tau.7} \cdot X_{1.5.7}}{X_{\text{COm285B}_\tau.7} + X_{1.5.7}} = 3.63 \times 10^3 \\
 X_{1.17.7} &:= X_{\text{АзурОм}18.7} + X_{\text{Om18Om285.7}} + \frac{X_{\text{АзурОм}18.7} \cdot X_{\text{Om18Om285.7}}}{X_{1.12.7}} = 198.762 \\
 X_{1.18.7} &:= X_{\text{АзурОм}18.7} + X_{1.12.7} + \frac{X_{\text{АзурОм}18.7} \cdot X_{1.12.7}}{X_{\text{Om18Om285.7}}} = 721.067 \\
 X_{1.19.7} &:= X_{\text{Om18Om285.7}} + X_{1.12.7} + \frac{X_{\text{Om18Om285.7}} \cdot X_{1.12.7}}{X_{\text{АзурОм}18.7}} = 1.253 \times 10^4 \\
 X_{1.20.7} &:= X_{\text{Om285B}_\tau.7} + X_{1.4.7} + \frac{X_{\text{Om285B}_\tau.7} \cdot X_{1.4.7}}{X_{1.14.7}} = 1.189 \times 10^3 \\
 X_{1.21.7} &:= X_{\text{Om285B}_\tau.7} + X_{1.14.7} + \frac{X_{\text{Om285B}_\tau.7} \cdot X_{1.14.7}}{X_{1.4.7}} = 3.736 \times 10^3 \\
 X_{1.22.7} &:= X_{1.4.7} + X_{1.14.7} + \frac{X_{1.4.7} \cdot X_{1.14.7}}{X_{\text{Om285B}_\tau.7}} = 1.689 \times 10^5 \\
 X_{1.23.7} &:= X_{1.7.7} + X_{\text{Б}_\tau X_{\text{в}7}} + \frac{X_{1.7.7} \cdot X_{\text{Б}_\tau X_{\text{в}7}}}{X_{1.9.7}} = 1.552 \times 10^3 \\
 X_{1.24.7} &:= X_{1.9.7} + X_{1.7.7} + \frac{X_{1.9.7} \cdot X_{1.7.7}}{X_{\text{Б}_\tau X_{\text{в}7}}} = 1.245 \times 10^4 \\
 \dots & \dots \dots & \dots & \dots \dots \dots
 \end{aligned}$$

$$X_{1,25.7} := X_{1,9.7} + X_{Б_гХв.7} + \frac{-}{X_{1,7.7}} = 2.728 \times 10$$

$$X_{1,26.7} := \frac{X_{1,1.7} \cdot X_{1,18.7}}{X_{1,1.7} + X_{1,18.7}} = 116.546$$

$$X_{1,27.7} := \frac{X_{1,19.7} \cdot X_{1,13.7} \cdot X_{1,21.7}}{X_{1,10.7} \cdot X_{1,13.7} + X_{1,10.7} \cdot X_{1,21.7} + X_{1,13.7} \cdot X_{1,21.7}} = 230.688$$

$$X_{1,28.7} := \frac{X_{1,25.7} \cdot X_{1,15.7}}{X_{1,25.7} + X_{1,15.7}} = 402.005$$

$$X_{1,29.7} := X_{1,17.7} + X_{1,20.7} + \frac{X_{1,17.7} \cdot X_{1,20.7}}{X_{1,27.7}} = 2.412 \times 10^3$$

$$X_{1,30.7} := X_{1,27.7} + X_{1,17.7} + \frac{X_{1,27.7} \cdot X_{1,17.7}}{X_{1,20.7}} = 468.023$$

$$X_{1,31.7} := X_{1,27.7} + X_{1,20.7} + \frac{X_{1,27.7} \cdot X_{1,20.7}}{X_{1,17.7}} = 2.799 \times 10^3$$

$$X_{1,32.7} := X_{1,23.7} + X_{ХвЗав.7} + \frac{X_{1,23.7} \cdot X_{ХвЗав.7}}{X_{1,28.7}} = 2.125 \times 10^3$$

$$X_{1,33.7} := X_{1,28.7} + X_{1,23.7} + \frac{X_{1,28.7} \cdot X_{1,23.7}}{X_{ХвЗав.7}} = 7.251 \times 10^3$$

$$X_{1,34.7} := X_{1,28.7} + X_{ХвЗав.7} + \frac{X_{1,28.7} \cdot X_{ХвЗав.7}}{X_{1,23.7}} = 550.325$$

$$X_{1,35.7} := \frac{X_{1,26.7} \cdot X_{1,30.7}}{X_{1,26.7} + X_{1,30.7}} = 93.31 \quad X_{1,38.7} := \frac{X_{1,16.7} \cdot X_{1,34.7}}{X_{1,16.7} + X_{1,34.7}} = 149.926$$

$$X_{1,36.7} := \frac{X_{1,22.7} \cdot X_{1,31.7}}{X_{1,22.7} + X_{1,31.7}} = 2.753 \times 10^3 \quad X_{1,39.7} := \frac{X_{1,29.7} \cdot X_{1,36.7}}{X_{1,29.7} + X_{1,36.7}} = 1.286 \times 10^3$$

$$X_{1,37.7} := \frac{X_{1,24.7} \cdot X_{1,33.7}}{X_{1,24.7} + X_{1,33.7}} = 4.582 \times 10^3 \quad X_{1,40.7} := \frac{X_{1,32.7} \cdot X_{1,37.7}}{X_{1,32.7} + X_{1,37.7}} = 1.452 \times 10^3$$

$$X_{1,эквI.7} := \frac{X_{1,35.7} \cdot X_{1,39.7}}{X_{1,35.7} + X_{1,39.7}} = 86.996 \quad X_{1,эквII.7} := \frac{X_{1,38.7} \cdot X_{1,40.7}}{X_{1,38.7} + X_{1,40.7}} = 135.891$$

Коэф. для тока, протекающего на X6 и X8:

$$K_{1,1.7} := \frac{X_{1,эквI.7}}{X_{1,6.7} + X_{1,эквI.7}} = 0.09$$

$$K_{1,10.7} := \frac{X_{1,эквII.7}}{X_{1,8.7} + X_{1,эквII.7}} = 0.134$$

Ток, протекающий на X6 и X8:

$$I_{1,1.7} := K_{1,1.7} \cdot I_1 = 5.573 \text{ А}$$

$$I_{1,10.7} := K_{1,10.7} \cdot I_1 = 8.285 \text{ А}$$

$$U_{1,1.7} := I_{1,1.7} \cdot X_{1,6.7} = 4.877 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1,10.7} := I_{1,10.7} \cdot X_{1,8.5} = 5.178 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на X4 и X7:

$$K_{1,2.7} := \frac{X_{1,6.7}}{X_{1,6.7} + X_{1,эквI.7}} = 0.91$$

$$K_{1,11.7} := \frac{X_{1,7.7}}{X_{1,7.7} + X_{1,эквII.7}} = 0.895$$

Ток, протекающий на X4 и X7:

$$I_{1,2.7} := K_{1,2.7} \cdot I_1 = 56.057 \text{ А}$$

$$I_{1,11.7} := K_{1,11.7} \cdot I_1 = 55.142 \text{ А}$$

$$U_{1,2.7} := I_{1,2.7} \cdot X_{1,эквI.7} = 4.877 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1,11.7} := I_{1,11.7} \cdot X_{1,эквII.7} = 7.493 \times 10^3 \text{ В}$$

2 эквивалент

$$X_{1.41.7} := \frac{X_{CA\text{зур}On18.7} \cdot X_{1.2.7}}{X_{CA\text{звр}On18.7} + X_{1.2.7}} = 671.746 \quad X_{1.43.7} := \frac{X_{CB_rXa.7} \cdot X_{1.10.7}}{X_{CB_rXa.7} + X_{1.10.7}} = 471.484$$

$$X_{1.42.7} := \frac{X_{COm18On285.7} \cdot X_{1.3.7}}{X_{COm18On285.7} + X_{1.3.7}} = 250.791 \quad X_{1.44.7} := \frac{X_{CXa3aB.7} \cdot X_{1.11.7}}{X_{CXa3aB.7} + X_{1.11.7}} = 206.064$$

$$X_{1.45.7} := X_{On285B_r.7} + X_{On18On285.7} + \frac{X_{On285B_r.7} \cdot X_{On18On285.7}}{X_{1.43.7}} = 229.59$$

$$X_{1.46.7} := X_{On18On285.7} + X_{1.42.7} + \frac{X_{On18On285.7} \cdot X_{1.42.7}}{X_{On285B_r.7}} = 2.253 \times 10^3$$

$$X_{1.47.7} := X_{On285B_r.7} + X_{1.42.7} + \frac{X_{On285B_r.7} \cdot X_{1.42.7}}{X_{On18On285.7}} = 310.959$$

$$X_{1.48.7} := X_{B_rXa.7} + X_{Xa3aB.7} + \frac{X_{B_rXa.7} \cdot X_{Xa3aB.7}}{X_{1.43.7}} = 434.187$$

$$X_{1.49.7} := X_{B_rXa.7} + X_{1.43.7} + \frac{X_{B_rXa.7} \cdot X_{1.43.7}}{X_{Xa3aB.7}} = 1.738 \times 10^3$$

$$X_{1.50.7} := X_{Xa3aB.7} + X_{1.43.7} + \frac{X_{Xa3aB.7} \cdot X_{1.43.7}}{X_{B_rXa.7}} = 808.721$$

$$X_{1.51.7} := \frac{X_{1.41.7} \cdot X_{1.46.7}}{X_{1.41.7} + X_{1.46.7}} = 517.467$$

$$X_{1.52.7} := \frac{X_{COm285B_r.7} \cdot X_{1.47.7}}{X_{COm285B_r.7} + X_{1.47.7}} = 333.478$$

$$X_{1.53.7} := \frac{X_{1.50.7} \cdot X_{1.44.7}}{X_{1.50.7} + X_{1.44.7}} = 164.22$$

$$X_{1.54.7} := X_{A\text{зур}On18.7} + X_{1.45.7} + \frac{X_{A\text{зур}On18.7} \cdot X_{1.45.7}}{X_{1.51.7}} = 244.976$$

$$X_{1.55.7} := X_{A\text{зур}On18.7} + X_{1.51.7} + \frac{X_{A\text{зур}On18.7} \cdot X_{1.51.7}}{X_{1.45.7}} = 552.145$$

$$X_{1.56.7} := X_{1.51.7} + X_{1.45.7} + \frac{X_{1.51.7} \cdot X_{1.45.7}}{X_{A\text{звр}On18.7}} = 1.189 \times 10^4$$

$$X_{1.57.7} := \frac{X_{1.48.7} \cdot X_{1.49.7}}{X_{1.48.7} + X_{1.49.7}} = 347.387$$

$$X_{1.58.7} := \frac{X_{1.1.7} \cdot X_{1.55.7}}{X_{1.1.7} + X_{1.55.7}} = 111.054$$

$$X_{1.59.7} := \frac{X_{1.56.7} \cdot X_{1.52.7}}{X_{1.56.7} + X_{1.52.7}} = 324.383 \quad X_{1.60.7} := \frac{X_{1.59.7} \cdot X_{1.54.7}}{X_{1.59.7} + X_{1.54.7}} = 139.571$$

$$X_{1.\text{эквIII}.7} := \frac{X_{1.57.7} \cdot X_{1.53.7}}{X_{1.57.7} + X_{1.53.7}} = 111.507 \quad X_{1.\text{эквIV}.7} := \frac{X_{1.58.7} \cdot X_{1.60.7}}{X_{1.58.7} + X_{1.60.7}} = 61.845$$

Коэф. для тока, протекающего на X5 и X9

$$K_{1.3.7} := \frac{X_{1.\text{эквIV}.7}}{X_{1.5.7} + X_{1.\text{эквIV}.7}} = 0.03$$

$$K_{1.12.7} := \frac{X_{1.\text{эквIII}.7}}{X_{1.9.7} + X_{1.\text{эквIII}.7}} = 0.052$$

Ток, протекающий на X5 и X9:

$$I_{1.3.7} := K_{1.3.7} \cdot I_{1.7} = 1.657 \text{ A} \quad I_{1.12.7} := K_{1.12.7} \cdot I_{1.11.7} = 2.871 \text{ A}$$

$$U_{1.3.7} := I_{1.3.7} \cdot X_{1.5.7} = 3.364 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.12.7} := I_{1.12.7} \cdot X_{1.9.7} = 5.829 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Оп285Бел/т и Бел/тХв:

$$K_{1.4.7} := \frac{X_{1.5.7}}{X_{1.5.7} + X_{1.эквIV.7}} = 0.97 \quad K_{1.13.7} := \frac{X_{1.9.7}}{X_{1.9.7} + X_{1.эквIII.7}} = 0.948$$

Ток, протекающий на линиях Оп285Бел/т и Бел/тХв:

$$I_{1.4.7} := K_{1.4.7} \cdot I_{1.2.7} = 54.399 \text{ A} \quad I_{1.13.7} := K_{1.13.7} \cdot I_{1.11.7} = 52.271 \text{ A}$$

$$U_{1.4.7} := I_{1.4.7} \cdot X_{1.эквIV.7} = 3.364 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.13.7} := I_{1.13.7} \cdot X_{1.эквIII.7} = 5.829 \times 10^3 \text{ В}$$

3 эквивалент

$$X_{1.61.7} := \frac{X_{САмурОп18.7} \cdot X_{1.2.7}}{X_{САмурОп18.7} + X_{1.2.7}} = 671.746$$

$$X_{1.62.7} := \frac{X_{ХвЗав.7} \cdot X_{СХвЗав.7}}{X_{ХвЗав.7} + X_{СХвЗав.7}} = 118.465$$

$$X_{1.63.7} := X_{АмурОп18.7} + X_{Оп18Оп285.7} + \frac{X_{АмурОп18.7} \cdot X_{Оп18Оп285.7}}{X_{1.61.7}} = 198.762$$

$$X_{1.64.7} := X_{1.61.7} + X_{АмурОп18.7} + \frac{X_{1.61.7} \cdot X_{АмурОп18.7}}{X_{Оп18Оп285.7}} = 721.067$$

$$X_{1.65.7} := X_{1.61.7} + X_{Оп18Оп285.7} + \frac{X_{1.61.7} \cdot X_{Оп18Оп285.7}}{X_{АмурОп18.7}} = 1.253 \times 10^4$$

$$X_{1.эквV.7} := \frac{X_{1.62.7} \cdot X_{1.11.7}}{X_{1.62.7} + X_{1.11.7}} = 74.955 \quad X_{1.67.7} := \frac{X_{СОп285Б.т.7} \cdot X_{1.65.7}}{X_{СОп285Б.т.7} + X_{1.65.7}} = -7.281 \times 10^3$$

$$X_{1.66.7} := \frac{X_{1.1.7} \cdot X_{1.64.7}}{X_{1.1.7} + X_{1.64.7}} = 116.546 \quad X_{1.68.7} := \frac{X_{1.63.7} \cdot X_{1.67.7}}{X_{1.63.7} + X_{1.67.7}} = 204.34$$

$$X_{1.эквVI.7} := \frac{X_{1.66.7} \cdot X_{1.68.7}}{X_{1.66.7} + X_{1.68.7}} = 74.216$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная

$$K_{1.5.7} := \frac{X_{1.эквVI.7}}{X_{1.3.7} + X_{1.эквVI.7}} = 0.23 \quad K_{1.14.7} := \frac{X_{1.эквV.7}}{X_{1.10.7} + X_{1.эквV.7}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.5.7} := K_{1.5.7} \cdot I_{1.4.7} = 12.494 \text{ A} \quad I_{1.14.7} := K_{1.14.7} \cdot I_{1.13.7} = 7.234 \text{ A}$$

$$U_{1.5.7} := I_{1.5.7} \cdot X_{1.3.7} = 3.11 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.14.7} := I_{1.14.7} \cdot X_{1.10.7} = 3.376 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$K_{1.6.7} := \frac{X_{1.3.7}}{X_{1.3.7} + X_{1.эквVI.7}} = 0.77 \quad K_{1.15.7} := \frac{X_{1.10.7}}{X_{1.10.7} + X_{1.эквV.7}} = 0.862$$

Ток, протекающий на линиях Оп18Оп285 и ХвЗав:

$$I_{1.6.7} := K_{1.6.7} \cdot I_{1.4.7} = 41.905 \text{ A} \quad I_{1.15.7} := K_{1.15.7} \cdot I_{1.13.7} = 45.037 \text{ A}$$

$$U_{1.6.7} := I_{1.6.7} \cdot X_{1.эквVI.7} = 3.11 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{1.15.7} := I_{1.15.7} \cdot X_{1.эквV.7} = 3.376 \times 10^3 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$X_{1.69.7} := \frac{X_{CAмурОп18.7} \cdot X_{АмурОп18.7}}{X_{CAмурОп18.7} + X_{АмурОп18.7}} = 10.717 \quad X_{1.экзVII.7} := \frac{X_{1.1.7} \cdot X_{1.69.7}}{X_{1.1.7} + X_{1.69.7}} = 9.95$$

$$X_{1.70.7} := X_{Б_рХв.7} + X_{1.7.7} + \frac{X_{Б_рХв.7} \cdot X_{1.7.7}}{X_{1.9.7}} = 1.552 \times 10^3 \quad X_{1.73.7} := \frac{X_{СБ_рХв.7} \cdot X_{1.10.7}}{X_{СБ_рХв.7} + X_{1.10.7}} = 471.484$$

$$X_{1.71.7} := X_{1.7.7} + X_{1.9.7} + \frac{X_{1.7.7} \cdot X_{1.9.7}}{X_{Б_рХв.7}} = 1.245 \times 10^4 \quad X_{1.74.7} := \frac{X_{1.8.7} \cdot X_{1.71.7}}{X_{1.8.7} + X_{1.71.7}} = 817.532$$

$$X_{1.72.7} := X_{Б_рХв.7} + X_{1.9.7} + \frac{X_{Б_рХв.7} \cdot X_{1.9.7}}{X_{1.7.7}} = 2.728 \times 10^3 \quad X_{1.75.7} := \frac{X_{1.72.7} \cdot X_{1.73.7}}{X_{1.72.7} + X_{1.73.7}} = 402.005$$

$$X_{1.76.7} := X_{Хв3ав.7} + X_{1.70.7} + \frac{X_{Хв3ав.7} \cdot X_{1.70.7}}{X_{1.75.7}} = 2.125 \times 10^3$$

$$X_{1.77.7} := X_{1.70.7} + X_{1.75.7} + \frac{X_{1.70.7} \cdot X_{1.75.7}}{X_{Хв3ав.7}} = 7.251 \times 10^3$$

$$X_{1.78.7} := X_{Хв3ав.7} + X_{1.75.7} + \frac{X_{Хв3ав.7} \cdot X_{1.75.7}}{X_{1.70.7}} = 550.325 \quad X_{1.80.7} := \frac{X_{1.78.7} \cdot X_{СХв3ав.7}}{X_{1.78.7} + X_{СХв3ав.7}} = 564.971$$

$$X_{1.79.7} := \frac{X_{1.74.7} \cdot X_{1.77.7}}{X_{1.74.7} + X_{1.77.7}} = 734.694$$

$$X_{1.81.7} := \frac{X_{1.76.7} \cdot X_{1.80.7}}{X_{1.76.7} + X_{1.80.7}} = 446.303$$

$$X_{1.экзVIII.7} := \frac{X_{37} \cdot \frac{X_{1.81.7} \cdot X_{1.79.7}}{X_{1.81.7} + X_{1.79.7}}}{X_{37} + \frac{X_{1.81.7} \cdot X_{1.79.7}}{X_{1.81.7} + X_{1.79.7}}} = 72.856$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Свободный и ПС Завитая:

$$K_{1.7.7} := \frac{X_{1.экзVII.7}}{X_{1.2.7} + X_{1.экзVII.7}} = 0.02$$

$$K_{1.16.7} := \frac{X_{1.экзVIII.7}}{X_{1.11.7} + X_{1.экзVIII.7}} = 0.263$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск (40) и ПС Хвойная:

$$I_{1.7.7} := K_{1.7.7} \cdot I_{1.6.7} = 0.821 \text{ А} \quad I_{1.16.7} := K_{1.16.7} \cdot I_{1.15.7} = 11.848 \text{ А}$$

$$U_{1.7.7} := I_{1.7.7} \cdot X_{1.2.5} = 293.71 \text{ В} \quad U_{1.16.7} := I_{1.16.7} \cdot X_{1.11.7} = 2.418 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на линиях Амур Оп18:

$$K_{1.8.7} := \frac{X_{1.2.7}}{X_{1.2.7} + X_{1.экзVII.7}} = 0.98$$

Ток, протекающий на линиях Амур Оп18:

$$I_{1.8.7} := K_{1.8.7} \cdot I_{1.6.7} = 41.084 \text{ А}$$

$$U_{1.8.7} := I_{1.8.7} \cdot X_{1.экзVII.7} = 408.781 \text{ В}$$

5 эквивалент

$$X_{1.82.7} := \frac{X_{CAмврОп18.7} \cdot X_{1.2.7}}{X_{CAмврОп18.7} + X_{1.2.7}} = 671.746$$

$$X_{1.83.7} := \frac{X_{COп18Оп285.7} \cdot X_{1.3.7}}{X_{COп18Оп285.7} + X_{1.3.7}} = 250.791$$

$$X_{1.84.7} := \frac{X_{COп285Б_т.7} \cdot X_{1.5.7}}{X_{COп285Б_т.7} + X_{1.5.7}} = 3.63 \times 10^3$$

$$X_{1.85.7} := X_{АмврОп18.7} + X_{Оп18Оп285.7} + \frac{X_{АмврОп18.7} \cdot X_{Оп18Оп285.7}}{X_{1.82.7}} = 198.762$$

$$X_{1.86.7} := X_{АмврОп18.7} + X_{1.82.7} + \frac{X_{АмврОп18.7} \cdot X_{1.82.7}}{X_{Оп18Оп285.7}} = 721.067$$

$$X_{1.87.7} := X_{Оп18Оп285.7} + X_{1.82.7} + \frac{X_{Оп18Оп285.7} \cdot X_{1.82.7}}{X_{АмврОп18.7}} = 1.253 \times 10^4$$

$$X_{1.88.7} := X_{Оп285Б_т.7} + X_{1.4.7} + \frac{X_{Оп285Б_т.7} \cdot X_{1.4.7}}{X_{1.84.7}} = 1.189 \times 10^3$$

$$X_{1.89.7} := X_{Оп285Б_т.7} + X_{1.84.7} + \frac{X_{Оп285Б_т.7} \cdot X_{1.84.7}}{X_{1.4.7}} = 3.736 \times 10^3$$

$$X_{1.90.7} := X_{1.4.7} + X_{1.84.7} + \frac{X_{1.4.7} \cdot X_{1.84.7}}{X_{Оп285Б_т.7}} = 1.689 \times 10^5$$

$$X_{1.91.7} := \frac{X_{1.87.7} \cdot X_{1.83.7} \cdot X_{1.89.7}}{X_{1.87.7} \cdot X_{1.83.7} + X_{1.87.7} \cdot X_{1.89.7} + X_{1.83.7} \cdot X_{1.89.7}} = 230.688$$

$$X_{1.92.7} := \frac{X_{1.90.7} \cdot X_{1.6.7}}{X_{1.90.7} + X_{1.6.7}} = 870.489$$

$$X_{1.93.7} := X_{1.85.7} + X_{1.88.7} + \frac{X_{1.85.7} \cdot X_{1.88.7}}{X_{1.91.7}} = 2.412 \times 10^3$$

$$X_{1.94.7} := X_{1.85.7} + X_{1.91.7} + \frac{X_{1.85.7} \cdot X_{1.91.7}}{X_{1.88.7}} = 468.023$$

$$X_{1.96.7} := \frac{X_{1.86.7} \cdot X_{1.94.7}}{X_{1.86.7} + X_{1.94.7}} = 283.81$$

$$X_{1.95.7} := X_{1.88.7} + X_{1.91.7} + \frac{X_{1.88.7} \cdot X_{1.91.7}}{X_{1.85.7}} = 2.799 \times 10^3$$

$$X_{1.97.7} := \frac{X_{1.95.7} \cdot X_{1.92.7}}{X_{1.95.7} + X_{1.92.7}} = 663.988$$

$$X_{1.98.7} := \frac{X_{1.93.7} \cdot X_{1.97.7}}{X_{1.93.7} + X_{1.97.7}} = 520.641$$

$$X_7 \cdot \frac{X_{1.98.7} \cdot X_{1.96.7}}{X_{1.98.7} + X_{1.96.7}}$$

Коэф. для тока протекающего на ПС Амурская:

$$X_{1.эвIX.7} := \frac{X_7 \cdot \frac{X_{1.98.7} \cdot X_{1.96.7}}{X_{1.98.7} + X_{1.96.7}}}{X_7 + \frac{X_{1.98.7} \cdot X_{1.96.7}}{X_{1.98.7} + X_{1.96.7}}} = 56.841$$

$$K_{1.9.7} := \frac{X_{1.эвIX.7}}{X_{1.1.7} + X_{1.эвIX.7}} = 0.29$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{1.0.7} := K_{1.0.7} \cdot I_{1.8.7} = 11.923 \text{ А}$$

$$U_{1.9.7} := I_{1.9.7} \cdot X_{1.1.7} = 1.658 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование 2 линии ПС Амурская-ПС Завитая

Преобразование электрической схемы на 1 гармонике:

$$\begin{aligned}
 X_{2.1} &:= \frac{X_{B1} \cdot X_{H1}}{X_{B1} + X_{H1}} = 19.859 & X_{2.3} &:= X_{B4} + X_{C4} + \frac{X_{B4} \cdot X_{C4}}{X_{H3}} = 165 \\
 X_{2.2} &:= \frac{X_{B6} \cdot X_{H6}}{X_{B6} + X_{H6}} = 33.949 & X_{2.4} &:= X_{B4} + X_{H4} = 290 \\
 X_{2.9} &:= \frac{X_{B7} \cdot X_{H7}}{X_{B7} + X_{H7}} = 66.667 & X_{2.5} &:= X_{H4} + X_{C4} + \frac{X_{H4} \cdot X_{C4}}{X_{R4}} = 125 \\
 X_{2.10} &:= \frac{X_{B8} \cdot X_{H8}}{X_{B8} + X_{H8}} = 29.155 & X_{2.6} &:= X_{B4} + X_{C4} + \frac{X_{B4} \cdot X_{C4}}{X_{H4}} = 165 \\
 X_{2.7} &:= X_{H4} + X_{C4} + \frac{X_{H4} \cdot X_{C4}}{X_{B4}} = 125 & X_{2.8} &:= X_{B4} + X_{H4} = 290
 \end{aligned}$$

1 эквивалент

$$\begin{aligned}
 X_{2.11} &:= \frac{X_{CAвврOn276} \cdot X_{2.2}}{X_{CAвврOn276} + X_{2.2}} = 33.954 \\
 X_{2.12} &:= \frac{X_{COн276Kop} \cdot X_{2.4}}{X_{COн276Kop} + X_{2.4}} = 290.323 & X_{2.15} &:= X_{On276Kop} + X_{2.3} + \frac{X_{On276Kop} \cdot X_{2.3}}{X_{2.12}} = 211.323 \\
 X_{2.13} &:= \frac{X_{CKopOn190} \cdot X_{2.9}}{X_{CKopOn190} + X_{2.9}} = 66.76 & X_{2.16} &:= X_{On276Kop} + X_{2.12} + \frac{X_{On276Kop} \cdot X_{2.12}}{X_{2.3}} = 371.83 \\
 X_{2.14} &:= \frac{X_{COн1903ав} \cdot X_{2.10}}{X_{COн1903ав} + X_{2.10}} = 29.16 & X_{2.17} &:= X_{2.3} + X_{2.12} + \frac{X_{2.3} \cdot X_{2.12}}{X_{On276Kop}} = 2.077 \times 10^3 \\
 X_{2.18} &:= X_{KopOn190} + X_{2.6} + \frac{X_{KopOn190} \cdot X_{2.6}}{X_{2.8}} = 173.481 \\
 X_{2.19} &:= X_{2.6} + X_{2.8} + \frac{X_{2.6} \cdot X_{2.8}}{X_{KopOn190}} = 9.307 \times 10^3 & X_{2.21} &:= \frac{X_{2.11} \cdot X_{2.16}}{X_{2.11} + X_{2.16}} = 31.113 \\
 X_{2.20} &:= X_{KopOn190} + X_{2.8} + \frac{X_{KopOn190} \cdot X_{2.8}}{X_{2.6}} = 304.906 & X_{2.22} &:= \frac{X_{2.20} \cdot X_{2.13}}{X_{2.20} + X_{2.13}} = 54.768 \\
 X_{2.23} &:= X_{AвврOn276} + X_{2.15} + \frac{X_{AвврOn276} \cdot X_{2.15}}{X_{2.21}} = 441.98 \\
 X_{2.24} &:= X_{AвврOn276} + X_{2.21} + \frac{X_{AвврOn276} \cdot X_{2.21}}{X_{2.15}} = 65.072 \\
 X_{2.25} &:= X_{2.15} + X_{2.21} + \frac{X_{2.15} \cdot X_{2.21}}{X_{AвврOn276}} = 464.551 & X_{2.27} &:= X_{2.18} + X_{2.22} + \frac{X_{2.18} \cdot X_{2.22}}{X_{On1903ав}} = 795.405 \\
 X_{2.26} &:= X_{2.18} + X_{On1903ав} + \frac{X_{2.18} \cdot X_{On1903ав}}{X_{2.22}} = 243.297 & X_{2.28} &:= X_{On1903ав} + X_{2.22} + \frac{X_{On1903ав} \cdot X_{2.22}}{X_{2.18}} = 74.525 \\
 X_{2.29} &:= \frac{X_{2.1} \cdot X_{2.24}}{X_{2.1} + X_{2.24}} = 15.216 & X_{2.31} &:= \frac{X_{2.27} \cdot X_{2.19}}{X_{2.27} + X_{2.19}} = 732.781 \\
 X_{2.30} &:= \frac{X_{2.25} \cdot X_{2.17}}{X_{2.25} + X_{2.17}} = 379.644 & X_{2.32} &:= \frac{X_{2.28} \cdot X_{2.14}}{X_{2.28} + X_{2.14}} = 20.959 \\
 X_{2.33} &:= \frac{X_{2.23} \cdot X_{2.29}}{X_{2.23} + X_{2.29}} = 14.709 & X_{2.33а} &:= \frac{X_{2.33} \cdot X_{2.30}}{X_{2.33} + X_{2.30}} = 14.161 \\
 X_{2.34} &:= \frac{X_{2.26} \cdot X_{2.32}}{X_{2.26} + X_{2.32}} = 19.297 & X_{2.33б} &:= \frac{X_{2.31} \cdot X_{2.34}}{X_{2.31} + X_{2.34}} = 18.802 \\
 & & & 0.85 \sqrt{(21.2)^2 + (6.8)^2} \cdot 10^3
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{нагрКор}_T} := \frac{S_{\text{нагрКор}_T}}{2} = 9.462 \times 10^4 \text{ кВт}$$

$$I_2 := \frac{S_{\text{нагрКор}_T}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 24.83 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на X5 и X7:

$$K_{2,1} := \frac{X_{2,эквI}}{X_{2,5} + X_{2,эквI}} = 0.102 \quad K_{2,8} := \frac{X_{2,эквII}}{X_{2,7} + X_{2,эквII}} = 0.131$$

Ток, протекающий на X5 и X7:

$$I_{2,1} := K_{2,1} \cdot I_2 = 2.527 \text{ А} \quad I_{2,8} := K_{2,8} \cdot I_2 = 3.247 \text{ А}$$

$$U_{2,1} := I_{2,1} \cdot X_{2,5} = 315.85 \text{ В} \quad U_{2,8} := I_{2,8} \cdot X_{2,7} = 405.839 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на X3 и X6:

$$K_{2,2} := \frac{X_{2,5}}{X_{2,5} + X_{2,эквI}} = 0.898 \quad K_{2,9} := \frac{X_{2,7}}{X_{2,7} + X_{2,эквII}} = 0.869$$

Ток, протекающий на X3 и X6:

$$I_{2,2} := K_{2,2} \cdot I_2 = 22.305 \text{ А} \quad I_{2,9} := K_{2,9} \cdot I_2 = 21.585 \text{ А}$$

$$U_{2,2} := I_{2,2} \cdot X_{2,эквI} = 315.85 \text{ В} \quad U_{2,9} := I_{2,9} \cdot X_{2,эквII} = 405.839 \text{ В}$$

2 эквивалент

$$X_{2,35} := \frac{X_{\text{САмурОп276}} \cdot X_{2,2}}{X_{\text{САмурОп276}} + X_{2,2}} = 33.954 \quad X_{2,39} := X_{\text{АмурОп276}} + X_{\text{Оп276Кор}} + \frac{X_{\text{АмурОп276}} \cdot X_{\text{Оп276Кор}}}{X_{2,35}} = 84.888$$

$$X_{2,36} := \frac{X_{\text{СКорОп190}} \cdot X_{2,9}}{X_{\text{СКорОп190}} + X_{2,9}} = 66.76 \quad X_{2,40} := X_{\text{АмурОп276}} + X_{2,35} + \frac{X_{\text{АмурОп276}} \cdot X_{2,35}}{X_{\text{Оп276Кор}}} = 97.582$$

$$X_{2,38} := \frac{X_{\text{СОп1903ав}} \cdot X_{2,10}}{X_{\text{СОп1903ав}} + X_{2,10}} = 29.16 \quad X_{2,41} := X_{2,35} + X_{\text{Оп276Кор}} + \frac{X_{2,35} \cdot X_{\text{Оп276Кор}}}{X_{\text{АмурОп276}}} = 97.37$$

$$X_{2,42} := X_{\text{КорОп190}} + X_{\text{Оп1903ав}} + \frac{X_{\text{КорОп190}} \cdot X_{\text{Оп1903ав}}}{X_{2,36}} = 23.514$$

$$X_{2,43} := X_{\text{КорОп190}} + X_{2,36} + \frac{X_{\text{КорОп190}} \cdot X_{2,36}}{X_{\text{Оп1903ав}}} = 93.706 \quad X_{2,45} := \frac{X_{\text{СКорОп190}} \cdot X_{2,41}}{X_{\text{СКорОп190}} + X_{2,41}} = 97.569$$

$$X_{2,44} := X_{\text{Оп1903ав}} + X_{2,36} + \frac{X_{\text{Оп1903ав}} \cdot X_{2,36}}{X_{\text{КорОп190}}} = 290.415 \quad X_{2,46} := \frac{X_{2,44} \cdot X_{2,38}}{X_{2,44} + X_{2,38}} = 26.5$$

$$X_{2,47} := \frac{X_{2,1} \cdot X_{2,39}}{X_{2,1} + X_{2,39}} = 16.094 \quad X_{2,48} := \frac{X_{2,42} \cdot X_{2,46}}{X_{2,42} + X_{2,46}} = 12.459$$

$$X_{2,эквIII} := \frac{X_{2,47} \cdot X_{2,45}}{X_{2,47} + X_{2,45}} = 13.815 \quad X_{2,эквIV} := \frac{X_{2,43} \cdot X_{2,48}}{X_{2,43} + X_{2,48}} = 10.997$$

Коэф. для тока, протекающего на X4 и X8:

$$K_{2,3} := \frac{X_{2,эквIII}}{X_{2,4} + X_{2,эквIII}} = 0.045 \quad K_{2,10} := \frac{X_{2,эквIV}}{X_{2,8} + X_{2,эквIV}} = 0.037$$

Ток, протекающий на X4 и X8:

$$I_{2,3} := K_{2,3} \cdot I_2 = 1.014 \text{ А} \quad I_{2,10} := K_{2,10} \cdot I_2 = 0.789 \text{ А}$$

$$U_{2,3} := I_{2,3} \cdot X_{2,4} = 294.136 \text{ В} \quad U_{2,10} := I_{2,10} \cdot X_{2,8} = 228.694 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$K_{2,4} := \frac{X_{2,4}}{X_{2,4} + X_{2,эквIII}} = 0.955 \quad K_{2,11} := \frac{X_{2,8}}{X_{2,8} + X_{2,эквIV}} = 0.963$$

Ток, протекающий на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$I_{2,4} := K_{2,4} \cdot I_{2,2} = 21.291 \text{ А} \quad I_{2,11} := K_{2,11} \cdot I_{2,9} = 20.796 \text{ А}$$

$$U_{2,4} := I_{2,4} \cdot X_{2,эквIII} = 294.136 \text{ В} \quad U_{2,11} := I_{2,11} \cdot X_{2,эквIV} = 228.694 \text{ В}$$

3 эквивалент

$$X_{2,49} := \frac{X_{\text{АмурОп276}} \cdot X_{2,1}}{X_{\text{АмурОп276}} + X_{2,1}} = 11.885 \quad X_{2,эквV} := \frac{X_{\text{САмурОп276}} \cdot X_{2,49}}{X_{\text{САмурОп276}} + X_{2,49}} = 11.886$$

$$X_{2,50} := \frac{X_{\text{СОп190Зав}} \cdot X_{2,10}}{X_{\text{СОп190Зав}} + X_{2,10}} = 29.16 \quad X_{2,эквVI} := \frac{X_{\text{Оп190Зав}} \cdot X_{2,50}}{X_{\text{Оп190Зав}} + X_{2,50}} = 10.64$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$K_{2,5} := \frac{X_{2,эквV}}{X_{2,2} + X_{2,эквV}} = 0.259 \quad K_{2,12} := \frac{X_{2,эквVI}}{X_{2,9} + X_{2,эквVI}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$I_{2,5} := K_{2,5} \cdot I_{2,4} = 5.521 \text{ А} \quad I_{2,12} := K_{2,12} \cdot I_{2,11} = 2.862 \text{ А}$$

$$U_{2,5} := I_{2,5} \cdot X_{2,2} = 187.436 \text{ В} \quad U_{2,12} := I_{2,12} \cdot X_{2,9} = 190.817 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$K_{2,6} := \frac{X_{2,2}}{X_{2,2} + X_{2,эквV}} = 0.741 \quad K_{2,13} := \frac{X_{2,9}}{X_{2,9} + X_{2,эквVI}} = 0.862$$

Ток, протекающий на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$I_{2,6} := K_{2,6} \cdot I_{2,4} = 15.77 \text{ А} \quad I_{2,13} := K_{2,13} \cdot I_{2,11} = 17.934 \text{ А}$$

$$U_{2,6} := I_{2,6} \cdot X_{2,эквV} = 187.436 \text{ В} \quad U_{2,13} := I_{2,13} \cdot X_{2,эквVI} = 190.817 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$X_{2.51} := \frac{X_{CAмурОн276} \cdot X_{2.2}}{X_{CAмурОн276} + X_{2.2}} = 33.954$$

$$X_{2.52} := \frac{X_{COн276Кор} \cdot X_{2.4}}{X_{COн276Кор} + X_{2.4}} = 290.323 \quad X_{2.53} := \frac{X_{CKорОн190} \cdot X_{2.9}}{X_{CKорОн190} + X_{2.9}} = 66.76$$

$$X_{2.54} := X_{Он276Кор} + X_{2.3} + \frac{X_{Он276Кор} \cdot X_{2.3}}{X_{2.52}} = 211.323$$

$$X_{2.55} := X_{Он276Кор} + X_{2.52} + \frac{X_{Он276Кор} \cdot X_{2.52}}{X_{2.3}} = 371.83$$

$$X_{2.56} := X_{2.3} + X_{2.52} + \frac{X_{2.3} \cdot X_{2.52}}{X_{Он276Кор}} = 2.077 \times 10^3$$

$$X_{2.59} := \frac{X_{2.51} \cdot X_{2.55}}{X_{2.51} + X_{2.55}} = 31.113$$

$$X_{2.37} := X_{2.6} + X_{КорОн190} + \frac{X_{2.6} \cdot X_{КорОн190}}{X_{2.8}} = 173.481$$

$$X_{2.60} := \frac{X_{2.56} \cdot X_{2.5}}{X_{2.56} + X_{2.5}} = 117.905$$

$$X_{2.57} := X_{2.6} + X_{2.8} + \frac{X_{2.6} \cdot X_{2.8}}{X_{КорОн190}} = 9.307 \times 10^3$$

$$X_{2.61} := \frac{X_{2.7} \cdot X_{2.57}}{X_{2.7} + X_{2.57}} = 123.343$$

$$X_{2.58} := X_{КорОн190} + X_{2.8} + \frac{X_{КорОн190} \cdot X_{2.8}}{X_{2.6}} = 304.906$$

$$X_{2.62} := \frac{X_{2.58} \cdot X_{2.9}}{X_{2.58} + X_{2.9}} = 54.705$$

$$X_{2.63} := X_{АмурОн276} + X_{2.54} + \frac{X_{АмурОн276} \cdot X_{2.54}}{X_{2.59}} = 441.98$$

$$X_{2.65} := X_{2.54} + X_{2.59} + \frac{X_{2.54} \cdot X_{2.59}}{X_{АмурОн276}} = 464.551$$

$$X_{2.64} := X_{АмурОн276} + X_{2.59} + \frac{X_{АмурОн276} \cdot X_{2.59}}{X_{2.54}} = 65.072$$

$$X_{2.66} := X_{2.56} + X_{Он1903ав} + \frac{X_{2.56} \cdot X_{Он1903ав}}{X_{2.62}} = 2.73 \times 10^3$$

$$X_{2.67} := X_{2.56} + X_{2.62} + \frac{X_{2.56} \cdot X_{2.62}}{X_{Он1903ав}} = 8.915 \times 10^3$$

$$X_{2.70} := \frac{X_{2.61} \cdot X_{2.67}}{X_{2.61} + X_{2.67}} = 121.66$$

$$X_{2.68} := X_{2.62} + X_{Он1903ав} + \frac{X_{2.62} \cdot X_{Он1903ав}}{X_{2.56}} = 71.899$$

$$X_{2.71} := \frac{X_{2.68} \cdot X_{COн1903ав}}{X_{2.68} + X_{COн1903ав}} = 71.934$$

$$X_{2.69} := \frac{X_{2.65} \cdot X_{2.60}}{X_{2.65} + X_{2.60}} = 94.038$$

$$X_{2.72} := \frac{X_{2.63} \cdot X_{2.69}}{X_{2.63} + X_{2.69}} = 77.54 \quad X_{2.73} := \frac{X_{2.66} \cdot X_{2.70}}{X_{2.66} + X_{2.70}} = 116.47$$

$$X_{2.эвVII} := \frac{X_{2.64} \cdot X_{2.72}}{X_{2.64} + X_{2.72}} = 35.38 \quad X_{2.эвVIII} := \frac{X_{2.73} \cdot X_{2.71}}{X_{2.73} + X_{2.71}} = 44.469$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$K_{2.7} := \frac{X_{2.эвVII}}{X_{2.1} + X_{2.эвVII}} = 0.64$$

$$K_{2.14} := \frac{X_{2.эвVIII}}{X_{2.10} + X_{2.эвVIII}} = 0.604$$

Ток, протекающий на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$I_{2.7} := K_{2.7} \cdot I_{2.6} = 10.1 \text{ А} \quad I_{2.14} := K_{2.14} \cdot I_{2.13} = 10.832 \text{ А}$$

$$U_{2.7} := I_{2.7} \cdot X_{2.1} = 200.583 \text{ В} \quad U_{2.14} := I_{2.14} \cdot X_{2.10} = 315.812 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 3 гармонике:

$$\begin{aligned}
 X_{\text{АмурОн276.3}} &:= n \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 69 = 88.803 & X_{2.2.3} &:= \frac{n \cdot X_{\text{В6}} \cdot n \cdot X_{\text{Н6}}}{n \cdot X_{\text{Н6}} + n \cdot X_{\text{Н6}}} = 101.848 \\
 X_{\text{Он276Кор.3}} &:= n \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 68.85 = 88.61 & X_{2.9.3} &:= \frac{n \cdot X_{\text{В7}} \cdot n \cdot X_{\text{Н7}}}{n \cdot X_{\text{В7}} + n \cdot X_{\text{Н7}}} = 200 \\
 X_{\text{КорОн190.3}} &:= n \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 12.6 = 16.216 & X_{2.10.3} &:= \frac{n \cdot X_{\text{В8}} \cdot n \cdot X_{\text{Н8}}}{n \cdot X_{\text{В8}} + n \cdot X_{\text{Н8}}} = 87.464 \\
 X_{\text{Он1903ав.3}} &:= n \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 39.05 = 50.257 & X_{2.3.3} &:= n \cdot X_{\text{В4}} + n \cdot X_{\text{С4}} + \frac{n \cdot X_{\text{В4}} \cdot n \cdot X_{\text{С4}}}{n \cdot X_{\text{Н3}}} = 495 \\
 X_{\text{САмурОн276.3}} &:= \frac{-69}{n \cdot b_{\text{уд300}}} = -8.712 \times 10^4 & X_{2.4.3} &:= n \cdot X_{\text{В4}} + n \cdot X_{\text{Н4}} = 870 \\
 X_{\text{СОн276Кор.3}} &:= \frac{-68.85}{n \cdot b_{\text{уд300}}} = -8.693 \times 10^4 & X_{2.5.3} &:= n \cdot X_{\text{Н4}} + n \cdot X_{\text{С4}} + \frac{n \cdot X_{\text{Н4}} \cdot n \cdot X_{\text{С4}}}{n \cdot X_{\text{В4}}} = 375 \\
 X_{\text{СКорОн190.3}} &:= \frac{-12.6}{n \cdot b_{\text{уд300}}} = -1.591 \times 10^4 & X_{2.6.3} &:= n \cdot X_{\text{В4}} + n \cdot X_{\text{С4}} + \frac{n \cdot X_{\text{В4}} \cdot n \cdot X_{\text{С4}}}{n \cdot X_{\text{Н4}}} = 495 \\
 X_{\text{СОн1903ав.3}} &:= \frac{-39.05}{n \cdot b_{\text{уд300}}} = -4.931 \times 10^4 & X_{2.7.3} &:= n \cdot X_{\text{Н4}} + n \cdot X_{\text{С4}} + \frac{n \cdot X_{\text{Н4}} \cdot n \cdot X_{\text{С4}}}{n \cdot X_{\text{В4}}} = 375 \\
 X_{2.1.3} &:= \frac{n \cdot X_{\text{В1}} \cdot n \cdot X_{\text{Н1}}}{n \cdot X_{\text{В1}} + n \cdot X_{\text{Н1}}} = 59.578 & X_{2.8.3} &:= n \cdot X_{\text{В4}} + n \cdot X_{\text{Н4}} = 870 \\
 \text{1 эквивалент} & & X_{2.11.3} &:= \frac{X_{\text{САмурОн276.3}} \cdot X_{2.2.3}}{X_{\text{САмурОн276.3}} + X_{2.2.3}} = 101.967 \\
 X_{2.11.3} &:= \frac{X_{\text{САмурОн276.3}} \cdot X_{2.2.3}}{X_{\text{САмурОн276.3}} + X_{2.2.3}} = 101.967 & X_{2.13.3} &:= \frac{X_{\text{СКорОн190.3}} \cdot X_{2.9.3}}{X_{\text{СКорОн190.3}} + X_{2.9.3}} = 202.546 \\
 X_{2.12.3} &:= \frac{X_{\text{СОн276Кор.3}} \cdot X_{2.4.3}}{X_{\text{СОн276Кор.3}} + X_{2.4.3}} = 878.795 & X_{2.14.3} &:= \frac{X_{\text{СОн1903ав.3}} \cdot X_{2.10.3}}{X_{\text{СОн1903ав.3}} + X_{2.10.3}} = 87.62 \\
 X_{2.15.3} &:= X_{\text{Он276Кор.3}} + X_{2.3.3} + \frac{X_{\text{Он276Кор.3}} \cdot X_{2.3.3}}{X_{2.11.3}} = 633.521 \\
 X_{2.16.3} &:= X_{\text{Он276Кор.3}} + X_{2.12.3} + \frac{X_{\text{Он276Кор.3}} \cdot X_{2.12.3}}{X_{2.3.3}} = 1.125 \times 10^3 \\
 X_{2.17.3} &:= X_{2.3.3} + X_{2.12.3} + \frac{X_{2.3.3} \cdot X_{2.12.3}}{X_{\text{Он276Кор.3}}} = 6.283 \times 10^3 \\
 X_{2.18.3} &:= X_{\text{КорОн190.3}} + X_{2.6.3} + \frac{X_{\text{КорОн190.3}} \cdot X_{2.6.3}}{X_{2.8.3}} = 520.443 \\
 X_{2.19.3} &:= X_{2.6.3} + X_{2.8.3} + \frac{X_{2.6.3} \cdot X_{2.8.3}}{X_{\text{КорОн190.3}}} = 2.792 \times 10^4 & X_{2.21.3} &:= \frac{X_{2.11.3} \cdot X_{2.16.3}}{X_{2.11.3} + X_{2.16.3}} = 93.491 \\
 X_{2.20.3} &:= X_{\text{КорОн190.3}} + X_{2.8.3} + \frac{X_{\text{КорОн190.3}} \cdot X_{2.8.3}}{X_{2.6.3}} = 914.717 & X_{2.22.3} &:= \frac{X_{2.20.3} \cdot X_{2.13.3}}{X_{2.20.3} + X_{2.13.3}} = 165.827 \\
 X_{2.23.3} &:= X_{\text{АмурОн276.3}} + X_{2.15.3} + \frac{X_{\text{АмурОн276.3}} \cdot X_{2.15.3}}{X_{2.21.3}} = 1.324 \times 10^3 \\
 X_{2.24.3} &:= X_{\text{АмурОн276.3}} + X_{2.21.3} + \frac{X_{\text{АмурОн276.3}} \cdot X_{2.21.3}}{X_{2.15.3}} = 195.399 \\
 X_{2.25.3} &:= X_{2.15.3} + X_{2.21.3} + \frac{X_{2.15.3} \cdot X_{2.21.3}}{X_{\text{АмурОн276.3}}} = 1.394 \times 10^3 \\
 X_{2.26.3} &:= X_{2.18.3} + X_{\text{Он1903ав.3}} + \frac{X_{2.18.3} \cdot X_{\text{Он1903ав.3}}}{X_{2.22.3}} = 728.431 \\
 X_{2.27.3} &:= X_{2.18.3} + X_{2.22.3} + \frac{X_{2.18.3} \cdot X_{2.22.3}}{X_{\text{Он1903ав.3}}} = 2.404 \times 10^3 \\
 \dots & & & \dots
 \end{aligned}$$

$$X_{2.28.3} := X_{\text{Оп1903ав.3}} + X_{2.22.3} + \frac{\quad}{X_{2.18.3}} = 225.115$$

$$X_{2.29.3} := \frac{X_{2.13.3} \cdot X_{2.24.3}}{X_{2.13.3} + X_{2.24.3}} = 45.657 \quad X_{2.32.3} := \frac{X_{2.28.3} \cdot X_{2.14.3}}{X_{2.28.3} + X_{2.14.3}} = 63.071$$

$$X_{2.30.3} := \frac{X_{2.25.3} \cdot X_{2.17.3}}{X_{2.25.3} + X_{2.17.3}} = 1.141 \times 10^3 \quad X_{2.33.3} := \frac{X_{2.23.3} \cdot X_{2.29.3}}{X_{2.23.3} + X_{2.29.3}} = 44.135$$

$$X_{2.31.3} := \frac{X_{2.27.3} \cdot X_{2.19.3}}{X_{2.27.3} + X_{2.19.3}} = 2.213 \times 10^3 \quad X_{2.34.3} := \frac{X_{2.26.3} \cdot X_{2.32.3}}{X_{2.26.3} + X_{2.32.3}} = 58.045$$

$$X_{2.эвЛ.3} := \frac{X_{2.33.3} \cdot X_{2.30.3}}{X_{2.33.3} + X_{2.30.3}} = 42.491 \quad X_{2.эвП.3} := \frac{X_{2.31.3} \cdot X_{2.34.3}}{X_{2.31.3} + X_{2.34.3}} = 56.561$$

$$S_{\text{нагрКор.т}} := \frac{0.85 \sqrt{(21.2)^2 + (6.8)^2} \cdot 10^3}{2} = 9.462 \times 10^6 \text{ кВт}$$

$$I_{2.3} := \frac{S_{\text{нагрКор.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = 24.831 \text{ А}$$

Коэф для тока протекающего на X5 и X7:

$$K_{2.13.3} := \frac{X_{2.эвЛ.3}}{X_{2.5.3} + X_{2.эвЛ.3}} = 0.102 \quad K_{2.8.3} := \frac{X_{2.эвП.3}}{X_{2.7.3} + X_{2.эвП.3}} = 0.131$$

Ток, протекающий на X5 и X7:

$$I_{2.13.3} := K_{2.13.3} \cdot I_{2.3} = 2.527 \text{ А} \quad I_{2.8.3} := K_{2.8.3} \cdot I_{2.3} = 3.255 \text{ А}$$

$$U_{2.13.3} := I_{2.13.3} \cdot X_{2.5.3} = 947.74 \text{ В} \quad U_{2.8.3} := I_{2.8.3} \cdot X_{2.7.3} = 1.22 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф для тока протекающего на X3 и X6:

$$K_{2.23.3} := \frac{X_{2.5.3}}{X_{2.5.3} + X_{2.эвЛ.3}} = 0.898 \quad K_{2.9.3} := \frac{X_{2.7.3}}{X_{2.7.3} + X_{2.эвП.3}} = 0.869$$

Ток, протекающий на X3 и X6:

$$I_{2.23.3} := K_{2.23.3} \cdot I_{2.3} = 22.304 \text{ А} \quad I_{2.9.3} := K_{2.9.3} \cdot I_{2.3} = 21.577 \text{ А}$$

$$U_{2.23.3} := I_{2.23.3} \cdot X_{2.эвЛ.3} = 947.74 \text{ В} \quad U_{2.9.3} := I_{2.9.3} \cdot X_{2.эвП.3} = 1.22 \times 10^3 \text{ В}$$

2 эквивалент

$$X_{2.35.3} := \frac{X_{\text{САмурОп276.3}} \cdot X_{2.23.3}}{X_{\text{САмурОп276.3}} + X_{2.23.3}} = 101.967$$

$$X_{2.36.3} := \frac{X_{\text{СКорОп190.3}} \cdot X_{2.9.3}}{X_{\text{СКорОп190.3}} + X_{2.9.3}} = 202.546$$

$$X_{2.38.3} := \frac{X_{\text{СОп1903ав.3}} \cdot X_{2.10.3}}{X_{\text{СОп1903ав.3}} + X_{2.10.3}} = 87.62$$

$$X_{2.39.3} := X_{\text{АмурОп276.3}} + X_{\text{Оп276Кор.3}} + \frac{X_{\text{АмурОп276.3}} \cdot X_{\text{Оп276Кор.3}}}{X_{2.35.3}} = 254.583$$

$$X_{2.40.3} := X_{\text{АмурОп276.3}} + X_{2.35.3} + \frac{X_{\text{АмурОп276.3}} \cdot X_{2.35.3}}{X_{\text{Оп276Кор.3}}} = 292.959$$

$$X_{2.41.3} := X_{2.35.3} + X_{\text{Оп}276\text{Кор}3} + \frac{X_{2.35.3} \cdot X_{\text{Оп}276\text{Кор}3}}{X_{\text{АмурОп}276.3}} = 292.322$$

$$X_{2.42.3} := X_{\text{КорОп}190.3} + X_{\text{Оп}1903\text{ав}3} + \frac{X_{\text{КорОп}190.3} \cdot X_{\text{Оп}1903\text{ав}3}}{X_{2.36.3}} = 70.497$$

$$X_{2.43.3} := X_{\text{КорОп}190.3} + X_{2.36.3} + \frac{X_{\text{КорОп}190.3} \cdot X_{2.36.3}}{X_{\text{Оп}1903\text{ав}3}} = 284.117$$

$$X_{2.44.3} := X_{\text{Оп}1903\text{ав}3} + X_{2.36.3} + \frac{X_{\text{Оп}1903\text{ав}3} \cdot X_{2.36.3}}{X_{\text{КорОп}190.3}} = 880.536$$

$$X_{2.45.3} := \frac{X_{\text{СКорОп}190.3} \cdot X_{2.41.3}}{X_{\text{СКорОп}190.3} + X_{2.41.3}} = 297.794 \quad X_{2.47.3} := \frac{X_{2.13} \cdot X_{2.39.3}}{X_{2.13} + X_{2.39.3}} = 48.279$$

$$X_{2.46.3} := \frac{X_{2.44.3} \cdot X_{2.38.3}}{X_{2.44.3} + X_{2.38.3}} = 79.69 \quad X_{2.48.3} := \frac{X_{2.42.3} \cdot X_{2.46.3}}{X_{2.42.3} + X_{2.46.3}} = 37.406$$

$$X_{2.эв3III} := \frac{X_{2.47.3} \cdot X_{2.45.3}}{X_{2.47.3} + X_{2.45.3}} = 41.544 \quad X_{2.эв3IV} := \frac{X_{2.43.3} \cdot X_{2.48.3}}{X_{2.43.3} + X_{2.48.3}} = 33.054$$

Коэф. для тока протекающего на X4 и X8:

$$K_{2.3.3} := \frac{X_{2.эв3III}}{X_{2.4.3} + X_{2.эв3III}} = 0.046 \quad K_{2.10.3} := \frac{X_{2.эв3IV}}{X_{2.8.3} + X_{2.эв3IV}} = 0.037$$

Ток, протекающий на X4 и X8:

$$I_{2.3.3} := K_{2.3.3} \cdot I_{2.3} = 1.017 \text{ А} \quad I_{2.10.3} := K_{2.10.3} \cdot I_{2.9.3} = 0.79 \text{ А}$$

$$U_{2.3.3} := I_{2.3.3} \cdot X_{2.4.3} = 884.385 \text{ В} \quad U_{2.10.3} := I_{2.10.3} \cdot X_{2.8.3} = 687.113 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$K_{2.4.3} := \frac{X_{2.4.3}}{X_{2.4.3} + X_{2.эв3III}} = 0.954 \quad K_{2.11.3} := \frac{X_{2.8.3}}{X_{2.8.3} + X_{2.эв3IV}} = 0.963$$

Ток, протекающий на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$I_{2.4.3} := K_{2.4.3} \cdot I_{2.3} = 21.288 \text{ А} \quad I_{2.11.3} := K_{2.11.3} \cdot I_{2.9.3} = 20.787 \text{ А}$$

$$U_{2.4.3} := I_{2.4.3} \cdot X_{2.эв3III} = 884.385 \text{ В} \quad U_{2.11.3} := I_{2.11.3} \cdot X_{2.эв3IV} = 687.113 \text{ В}$$

3 эв3эв3эв3

$$X_{2.49.3} := \frac{X_{\text{АмурОп}276.3} \cdot X_{2.13}}{X_{\text{АмурОп}276.3} + X_{2.13}} = 35.656 \quad X_{2.эв3V} := \frac{X_{\text{САмурОп}276.3} \cdot X_{2.49.3}}{X_{\text{САмурОп}276.3} + X_{2.49.3}} = 35.671$$

$$X_{2.50.3} := \frac{X_{\text{СОп}1903\text{ав}3} \cdot X_{2.10.3}}{X_{\text{СОп}1903\text{ав}3} + X_{2.10.3}} = 87.62 \quad X_{2.эв3VI} := \frac{X_{\text{Оп}1903\text{ав}3} \cdot X_{2.50.3}}{X_{\text{Оп}1903\text{ав}3} + X_{2.50.3}} = 31.938$$

Коэф. для тока протекающего на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$K_{2.5.3} := \frac{X_{2.эв3V}}{X_{2.2.3} + X_{2.эв3V}} = 0.259 \quad K_{2.12.3} := \frac{X_{2.эв3VI}}{X_{2.9.3} + X_{2.эв3VI}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$I_{2.5.3} := K_{2.5.3} \cdot I_{2.4.3} = 5.522 \text{ А} \quad I_{2.12.3} := K_{2.12.3} \cdot I_{2.11.3} = 2.862 \text{ А}$$

$$U_{2.5.3} := I_{2.5.3} \cdot X_{2.2.3} = 562.386 \text{ В} \quad U_{2.12.3} := I_{2.12.3} \cdot X_{2.9.3} = 572.489 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$K_{2.6.3} := \frac{X_{2.2.3}}{X_{2.2.3} + X_{2.эв3V}} = 0.741 \quad K_{2.13.3} := \frac{X_{2.9.3}}{X_{2.9.3} + X_{2.эв3VI}} = 0.862$$

Ток, протекающий на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$I_{1.6.3} := K_{1.6.3} \cdot I_{1.4.3} = 15.766 \text{ А} \quad I_{1.13.3} := K_{1.13.3} \cdot I_{1.11.3} = 17.925 \text{ А}$$

$$U_{2.6.3} := I_{2.6.3} \cdot X_{2.33B.3} = 562.386 \text{ В} \quad U_{2.13.3} := I_{2.13.3} \cdot X_{2.33B.VI.3} = 572.489 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$X_{2.51.3} := \frac{X_{CAзупОп276.3} \cdot X_{2.2.3}}{X_{CAзупОп276.3} + X_{2.2.3}} = 101.967$$

$$X_{2.52.3} := \frac{X_{COп276Кор.3} \cdot X_{2.4.3}}{X_{COп276Кор.3} + X_{2.4.3}} = 878.795 \quad X_{2.53.3} := \frac{X_{CKорОп190.3} \cdot X_{2.9.3}}{X_{CKорОп190.3} + X_{2.9.3}} = 202.546$$

$$X_{2.54.3} := X_{Оп276Кор.3} + X_{2.3.3} + \frac{X_{Оп276Кор.3} \cdot X_{2.3.3}}{X_{2.51.3}} = 633.521$$

$$X_{2.55.3} := X_{Оп276Кор.3} + X_{2.52.3} + \frac{X_{Оп276Кор.3} \cdot X_{2.52.3}}{X_{2.3.3}} = 1.125 \times 10^3$$

$$X_{2.56.3} := X_{2.3.3} + X_{2.52.3} + \frac{X_{2.3.3} \cdot X_{2.52.3}}{X_{Оп276Кор.3}} = 6.283 \times 10^3$$

$$X_{2.37.3} := X_{2.6.3} + X_{КорОп190.3} + \frac{X_{2.6.3} \cdot X_{КорОп190.3}}{X_{2.8.3}} = 520.443$$

$$X_{2.57.3} := X_{2.6.3} + X_{2.8.3} + \frac{X_{2.6.3} \cdot X_{2.8.3}}{X_{КорОп190.3}} = 2.792 \times 10^4$$

$$X_{2.58.3} := X_{КорОп190.3} + X_{2.8.3} + \frac{X_{КорОп190.3} \cdot X_{2.8.3}}{X_{2.6.3}} = 914.717$$

$$X_{2.59.3} := \frac{X_{2.51.3} \cdot X_{2.55.3}}{X_{2.51.3} + X_{2.55.3}} = 93.491 \quad X_{2.61.3} := \frac{X_{2.7.3} \cdot X_{2.57.3}}{X_{2.7.3} + X_{2.57.3}} = 370.03$$

$$X_{2.60.3} := \frac{X_{2.56.3} \cdot X_{2.53.3}}{X_{2.56.3} + X_{2.53.3}} = 353.879 \quad X_{2.62.3} := \frac{X_{2.58.3} \cdot X_{2.9.3}}{X_{2.58.3} + X_{2.9.3}} = 164.116$$

$$X_{2.63.3} := X_{АзупОп276.3} + X_{2.54.3} + \frac{X_{АзупОп276.3} \cdot X_{2.54.3}}{X_{2.59.3}} = 1.324 \times 10^3$$

$$X_{2.64.3} := X_{АзупОп276.3} + X_{2.59.3} + \frac{X_{АзупОп276.3} \cdot X_{2.59.3}}{X_{2.54.3}} = 195.399$$

$$X_{2.65.3} := X_{2.54.3} + X_{2.59.3} + \frac{X_{2.54.3} \cdot X_{2.59.3}}{X_{АзупОп276.3}} = 1.394 \times 10^3$$

$$X_{2.66.3} := X_{2.56.3} + X_{Оп1903ав.3} + \frac{X_{2.56.3} \cdot X_{Оп1903ав.3}}{X_{2.62.3}} = 8.257 \times 10^3$$

$$X_{2.67.3} := X_{2.56.3} + X_{2.62.3} + \frac{X_{2.56.3} \cdot X_{2.62.3}}{X_{Оп1903ав.3}} = 2.696 \times 10^4$$

$$X_{2.68.3} := X_{2.62.3} + X_{Оп1903ав.3} + \frac{X_{2.62.3} \cdot X_{Оп1903ав.3}}{X_{2.56.3}} = 215.687$$

$$X_{2.69.3} := \frac{X_{2.65.3} \cdot X_{2.60.3}}{X_{2.65.3} + X_{2.60.3}} = 282.231$$

$$X_{2.72.3} := \frac{X_{2.63.3} \cdot X_{2.69.3}}{X_{2.63.3} + X_{2.69.3}} = 232.643$$

$$X_{2.70.3} := \frac{X_{2.61.3} \cdot X_{2.67.3}}{X_{2.61.3} + X_{2.67.3}} = 365.021$$

$$X_{2.73.3} := \frac{X_{2.66.3} \cdot X_{2.70.3}}{X_{2.66.3} + X_{2.70.3}} = 349.568$$

$$X_{2.71.3} := \frac{X_{2.68.3} \cdot X_{Оп1903ав.3}}{X_{2.68.3} + X_{Оп1903ав.3}} = 216.634$$

$$X_{33} \cdot \frac{X_{2.73.3} \cdot X_{2.71.3}}{X_{2.73.3} + X_{2.71.3}} \quad X_{2.33B.VII.3} := \frac{X_3 \cdot \frac{X_{2.64.3} \cdot X_{2.72.3}}{X_{2.64.3} + X_{2.72.3}}}{X_{2.33B.VII.3}} = 48.607$$

$$X_{2,эквVIII.3} := \frac{X_{2,73.3} \cdot X_{2,71.3}}{X_{23} + \frac{X_{2,73.3} \cdot X_{2,71.3}}{X_{2,73.3} + X_{2,71.3}}} = 59.615 \quad X_3 + \frac{X_{2,64.3} \cdot X_{2,72.3}}{X_{2,64.3} + X_{2,72.3}}$$

Коэф. для тока протекающего на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$K_{2,7.3} := \frac{X_{2,эквVII.3}}{X_{2,1.3} + X_{2,эквVII.3}} = 0.449 \quad K_{2,14.3} := \frac{X_{2,эквVIII.3}}{X_{2,10.3} + X_{2,эквVIII.3}} = 0.405$$

Ток, протекающий на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$I_{2,7.3} := K_{2,7.3} \cdot I_{2,6.3} = 7.084 \text{ А} \quad I_{2,14.3} := K_{2,14.3} \cdot I_{2,13.3} = 7.265 \text{ А}$$

$$U_{2,7.3} := I_{2,7.3} \cdot X_{2,1.3} = 422.026 \text{ В} \quad U_{2,14.3} := I_{2,14.3} \cdot X_{2,10.3} = 635.468 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 5 гармоники:

$$X_{\text{АмурОп}276.5} := n_1 \cdot X_{\text{уд}300} \cdot 69 = 148.005$$

$$X_{\text{Оп}276\text{Кор}5} := n_1 \cdot X_{\text{уд}300} \cdot 68.85 = 147.683$$

$$X_{\text{КорОп}190.5} := n_1 \cdot X_{\text{уд}300} \cdot 12.6 = 27.027$$

$$X_{\text{Оп}1903\text{ав}5} := n_1 \cdot X_{\text{уд}300} \cdot 39.05 = 83.762$$

$$X_{\text{САмурОп}276.5} := \frac{-69}{n_1 \cdot b_{\text{уд}300}} = -5.227 \times 10^4$$

$$X_{\text{COп}276\text{Кор}5} := \frac{-68.85}{n_1 \cdot b_{\text{уд}300}} = -5.216 \times 10^4$$

$$X_{\text{CKорОп}190.5} := \frac{-12.6}{n_1 \cdot b_{\text{уд}300}} = -9.545 \times 10^3$$

$$X_{\text{COп}1903\text{ав}5} := \frac{-39.05}{n_1 \cdot b_{\text{уд}300}} = -2.958 \times 10^4$$

$$X_{2,1.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B1} \cdot n_1 \cdot X_{H1}}{n_1 \cdot X_{B1} + n_1 \cdot X_{H1}} = 99.296$$

$$X_{2,2.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B6} \cdot n_1 \cdot X_{H6}}{n_1 \cdot X_{B6} + n_1 \cdot X_{H6}} = 169.746$$

$$X_{2,9.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B7} \cdot n_1 \cdot X_{H7}}{n_1 \cdot X_{B7} + n_1 \cdot X_{H7}} = 333.333$$

$$X_{2,10.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B8} \cdot n_1 \cdot X_{H8}}{n_1 \cdot X_{B8} + n_1 \cdot X_{H8}} = 145.774$$

$$X_{2,3.5} := n_1 \cdot X_{B4} + n_1 \cdot X_{C4} + \frac{n_1 \cdot X_{B4} \cdot n_1 \cdot X_{C4}}{n_1 \cdot X_{H3}} = 825$$

$$X_{2,4.5} := n_1 \cdot X_{B4} + n_1 \cdot X_{H4} = 1.45 \times 10^3$$

$$X_{2,5.5} := n_1 \cdot X_{H4} + n_1 \cdot X_{C4} + \frac{n_1 \cdot X_{H4} \cdot n_1 \cdot X_{C4}}{n_1 \cdot X_{B4}} = 625$$

$$X_{2,6.5} := n_1 \cdot X_{B4} + n_1 \cdot X_{C4} + \frac{n_1 \cdot X_{B4} \cdot n_1 \cdot X_{C4}}{n_1 \cdot X_{H4}} = 825$$

$$X_{2,7.5} := n_1 \cdot X_{H4} + n_1 \cdot X_{C4} + \frac{n_1 \cdot X_{H4} \cdot n_1 \cdot X_{C4}}{n_1 \cdot X_{B4}} = 625$$

$$X_{2,8.5} := n_1 \cdot X_{B4} + n_1 \cdot X_{H4} = 1.45 \times 10^3$$

1 эквивалент

$$X_{2.11.5} := \frac{X_{CA\text{дурОн}276.5} \cdot X_{2.2.5}}{X_{CA\text{дурОн}276.5} + X_{2.2.5}} = 170.299 \quad X_{2.13.5} := \frac{X_{CKop\text{Он}190.5} \cdot X_{2.9.5}}{X_{CKop\text{Он}190.5} + X_{2.9.5}} = 345.395$$

$$X_{2.12.5} := \frac{X_{CO\text{Он}276Kop.5} \cdot X_{2.4.5}}{X_{CO\text{Он}276Kop.5} + X_{2.4.5}} = 1.491 \times 10^3 \quad X_{2.14.5} := \frac{X_{CO\text{Он}1903ав.5} \cdot X_{2.10.5}}{X_{CO\text{Он}1903ав.5} + X_{2.10.5}} = 146.496$$

$$X_{2.15.5} := X_{O\text{Он}276Kop.5} + X_{2.3.5} + \frac{X_{O\text{Он}276Kop.5} \cdot X_{2.3.5}}{X_{2.12.5}} = 1.054 \times 10^3$$

$$X_{2.16.5} := X_{O\text{Он}276Kop.5} + X_{2.12.5} + \frac{X_{O\text{Он}276Kop.5} \cdot X_{2.12.5}}{X_{2.3.5}} = 1.906 \times 10^3$$

$$X_{2.17.5} := X_{2.3.5} + X_{2.12.5} + \frac{X_{2.3.5} \cdot X_{2.12.5}}{X_{O\text{Он}276Kop.5}} = 1.065 \times 10^4$$

$$X_{2.18.5} := X_{Kop\text{Он}190.5} + X_{2.6.5} + \frac{X_{Kop\text{Он}190.5} \cdot X_{2.6.5}}{X_{2.8.5}} = 867.404$$

$$X_{2.19.5} := X_{2.6.5} + X_{2.8.5} + \frac{X_{2.6.5} \cdot X_{2.8.5}}{X_{Kop\text{Он}190.5}} = 4.654 \times 10^4 \quad X_{2.21.5} := \frac{X_{2.11.5} \cdot X_{2.16.5}}{X_{2.11.5} + X_{2.16.5}} = 156.332$$

$$X_{2.20.5} := X_{Kop\text{Он}190.5} + X_{2.8.5} + \frac{X_{Kop\text{Он}190.5} \cdot X_{2.8.5}}{X_{2.6.5}} = 1.525 \times 10^3 \quad X_{2.22.5} := \frac{X_{2.20.5} \cdot X_{2.13.5}}{X_{2.20.5} + X_{2.13.5}} = 281.597$$

$$X_{2.23.5} := X_{A\text{дурОн}276.5} + X_{2.15.5} + \frac{X_{A\text{дурОн}276.5} \cdot X_{2.15.5}}{X_{2.21.5}} = 2.201 \times 10^3$$

$$X_{2.24.5} := X_{A\text{дурОн}276.5} + X_{2.21.5} + \frac{X_{A\text{дурОн}276.5} \cdot X_{2.21.5}}{X_{2.15.5}} = 326.282$$

$$X_{2.25.5} := X_{2.15.5} + X_{2.21.5} + \frac{X_{2.15.5} \cdot X_{2.21.5}}{X_{A\text{дурОн}276.5}} = 2.324 \times 10^3$$

$$X_{2.26.5} := X_{2.18.5} + X_{O\text{Он}1903ав.5} + \frac{X_{2.18.5} \cdot X_{O\text{Он}1903ав.5}}{X_{2.22.5}} = 1.209 \times 10^3$$

$$X_{2.27.5} := X_{2.18.5} + X_{2.22.5} + \frac{X_{2.18.5} \cdot X_{2.22.5}}{X_{O\text{Он}1903ав.5}} = 4.065 \times 10^3$$

$$X_{2.28.5} := X_{O\text{Он}1903ав.5} + X_{2.22.5} + \frac{X_{O\text{Он}1903ав.5} \cdot X_{2.22.5}}{X_{2.18.5}} = 380.455$$

$$X_{2.29.5} := \frac{X_{2.1.5} \cdot X_{2.24.5}}{X_{2.1.5} + X_{2.24.5}} = 76.128 \quad X_{2.32.5} := \frac{X_{2.28.5} \cdot X_{2.14.5}}{X_{2.28.5} + X_{2.14.5}} = 105.769$$

$$X_{2.30.5} := \frac{X_{2.25.5} \cdot X_{2.17.5}}{X_{2.25.5} + X_{2.17.5}} = 1.908 \times 10^3 \quad X_{2.33.5} := \frac{X_{2.23.5} \cdot X_{2.29.5}}{X_{2.23.5} + X_{2.29.5}} = 73.583$$

$$X_{2.31.5} := \frac{X_{2.27.5} \cdot X_{2.19.5}}{X_{2.27.5} + X_{2.19.5}} = 3.739 \times 10^3 \quad X_{2.34.5} := \frac{X_{2.26.5} \cdot X_{2.32.5}}{X_{2.26.5} + X_{2.32.5}} = 97.261$$

$$X_{2.3ав.5} := \frac{X_{2.33.5} \cdot X_{2.30.5}}{X_{2.33.5} + X_{2.30.5}} = 70.85 \quad X_{2.3ав.П.5} := \frac{X_{2.31.5} \cdot X_{2.34.5}}{X_{2.31.5} + X_{2.34.5}} = 94.795$$

$$S_{нарКop_r} := \frac{0.85 \sqrt{(21.2)^2 + (6.8)^2} \cdot 10^3}{2} = 9.462 \times 10^3 \text{ кВт}$$

$$I_{2.5} := \frac{S_{\text{нагрКор}_T}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 24.837 \text{ A}$$

Коэф. для тока протекающего на X5 и X7:

$$K_{2.1.5} := \frac{X_{2.зквI.5}}{X_{2.5.5} + X_{2.зквI.5}} = 0.102 \quad K_{2.8.5} := \frac{X_{2.зквII.5}}{X_{2.7.5} + X_{2.зквII.5}} = 0.132$$

Ток, протекающий на X5 и X7:

$$I_{2.1.5} := K_{2.1.5} \cdot I_{2.5} = 2.528 \text{ A} \quad I_{2.8.5} := K_{2.8.5} \cdot I_{2.5} = 3.27 \text{ A}$$

$$U_{2.1.5} := I_{2.1.5} \cdot X_{2.5.5} = 1.58 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.8.5} := I_{2.8.5} \cdot X_{2.7.5} = 2.044 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на X3 и X6:

$$K_{2.2.5} := \frac{X_{2.5.5}}{X_{2.5.5} + X_{2.зквI.5}} = 0.898 \quad K_{2.9.5} := \frac{X_{2.7.5}}{X_{2.7.5} + X_{2.зквII.5}} = 0.868$$

Ток, протекающий на X3 и X6:

$$I_{2.2.5} := K_{2.2.5} \cdot I_{2.5} = 22.303 \text{ A} \quad I_{2.9.5} := K_{2.9.5} \cdot I_{2.5} = 21.561 \text{ A}$$

$$U_{2.2.5} := I_{2.2.5} \cdot X_{2.зквI.5} = 1.58 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.9.5} := I_{2.9.5} \cdot X_{2.зквII.5} = 2.044 \times 10^3 \text{ В}$$

2 эквивалент

$$X_{2.35.5} := \frac{X_{C\text{АмурОп}276.5} \cdot X_{2.2.5}}{X_{C\text{АмурОп}276.5} + X_{2.2.5}} = 170.299$$

$$X_{2.36.5} := \frac{X_{C\text{КорОп}190.5} \cdot X_{2.9.5}}{X_{C\text{КорОп}190.5} + X_{2.9.5}} = 345.395$$

$$X_{2.38.5} := \frac{X_{C\text{Оп}1903ав.5} \cdot X_{2.10.5}}{X_{C\text{Оп}1903ав.5} + X_{2.10.5}} = 146.496$$

$$X_{2.39.5} := X_{\text{АмурОп}276.5} + X_{\text{Оп}276\text{Кор}.5} + \frac{X_{\text{АмурОп}276.5} \cdot X_{\text{Оп}276\text{Кор}.5}}{X_{2.35.5}} = 424.038$$

$$X_{2.40.5} := X_{\text{АмурОп}276.5} + X_{2.35.5} + \frac{X_{\text{АмурОп}276.5} \cdot X_{2.35.5}}{X_{\text{Оп}276\text{Кор}.5}} = 488.975$$

$$X_{2.41.5} := X_{2.35.5} + X_{\text{Оп}276\text{Кор}.5} + \frac{X_{2.35.5} \cdot X_{\text{Оп}276\text{Кор}.5}}{X_{\text{АмурОп}276.5}} = 487.912$$

$$X_{2.42.5} := X_{\text{КорОп}190.5} + X_{\text{Оп}1903ав.5} + \frac{X_{\text{КорОп}190.5} \cdot X_{\text{Оп}1903ав.5}}{X_{2.36.5}} = 117.344$$

$$X_{2.43.5} := X_{\text{КорОп}190.5} + X_{2.36.5} + \frac{X_{\text{КорОп}190.5} \cdot X_{2.36.5}}{X_{\text{Оп}1903ав.5}} = 483.868$$

$$X_{2.44.5} := X_{\text{Оп}1903ав.5} + X_{2.36.5} + \frac{X_{\text{Оп}1903ав.5} \cdot X_{2.36.5}}{X_{\text{КорОп}190.5}} = 1.5 \times 10^3$$

$$X_{2.45.5} := \frac{X_{C\text{КорОп}190.5} \cdot X_{2.41.5}}{X_{C\text{КорОп}190.5} + X_{2.41.5}} = 514.195 \quad X_{2.47.5} := \frac{X_{2.1.5} \cdot X_{2.39.5}}{X_{2.1.5} + X_{2.39.5}} = 80.456$$

$$X_{2.46.5} := \frac{X_{2.44.5} \cdot X_{2.38.5}}{X_{2.44.5} + X_{2.38.5}} = 133.458 \quad X_{2.48.5} := \frac{X_{2.42.5} \cdot X_{2.46.5}}{X_{2.42.5} + X_{2.46.5}} = 62.442$$

$$X_{2.зквIII.5} := \frac{X_{2.47.5} \cdot X_{2.45.5}}{X_{2.47.5} + X_{2.45.5}} = 69.57 \quad X_{2.зквIV.5} := \frac{X_{2.43.5} \cdot X_{2.48.5}}{X_{2.43.5} + X_{2.48.5}} = 55.305$$

Коэф. для тока, протекающего на X4 и X8:

$$K_{2,3.5} := \frac{X_{2,эквIII.5}}{X_{2,4.5} + X_{2,эквIII.5}} = 0.046 \quad K_{2,10.5} := \frac{X_{2,эквIV.5}}{X_{2,8.5} + X_{2,эквIV.5}} = 0.037$$

Ток, протекающий на X4 и X8:

$$I_{2,3.5} := K_{2,3.5} \cdot I_{2,2.5} = 1.021 \text{ А} \quad I_{2,10.5} := K_{2,10.5} \cdot I_{2,0.5} = 0.792 \text{ А}$$

$$U_{2,3.5} := I_{2,3.5} \cdot X_{2,4.5} = 1.481 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2,10.5} := I_{2,10.5} \cdot X_{2,8.5} = 1.149 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$K_{2,4.5} := \frac{X_{2,4.5}}{X_{2,4.5} + X_{2,эквIII.5}} = 0.954 \quad K_{2,11.5} := \frac{X_{2,8.5}}{X_{2,8.5} + X_{2,эквIV.5}} = 0.963$$

Ток, протекающий на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$I_{2,4.5} := K_{2,4.5} \cdot I_{2,2.5} = 21.282 \text{ А} \quad I_{2,11.5} := K_{2,11.5} \cdot I_{2,9.5} = 20.769 \text{ А}$$

$$U_{2,4.5} := I_{2,4.5} \cdot X_{2,эквIII.5} = 1.481 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2,11.5} := I_{2,11.5} \cdot X_{2,эквIV.5} = 1.149 \times 10^3 \text{ В}$$

3 эквивалент

$$X_{2,49.5} := \frac{X_{САмурОп276.5} \cdot X_{2,1.5}}{X_{САмурОп276.5} + X_{2,1.5}} = 59.427 \quad X_{2,эквV.5} := \frac{X_{САмурОп276.5} \cdot X_{2,49.5}}{X_{САмурОп276.5} + X_{2,49.5}} = 59.495$$

$$X_{2,50.5} := \frac{X_{СОп190Зав.5} \cdot X_{2,10.5}}{X_{СОп190Зав.5} + X_{2,10.5}} = 146.496 \quad X_{2,эквVI.5} := \frac{X_{Оп190Зав.5} \cdot X_{2,50.5}}{X_{Оп190Зав.5} + X_{2,50.5}} = 53.292$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$K_{2,5.5} := \frac{X_{2,эквV.5}}{X_{2,2.5} + X_{2,эквV.5}} = 0.26 \quad K_{2,12.5} := \frac{X_{2,эквVI.5}}{X_{2,9.5} + X_{2,эквVI.5}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$I_{2,5.5} := K_{2,5.5} \cdot I_{2,4.5} = 5.523 \text{ А} \quad I_{2,12.5} := K_{2,12.5} \cdot I_{2,11.5} = 2.863 \text{ А}$$

$$U_{2,5.5} := I_{2,5.5} \cdot X_{2,2.5} = 937.569 \text{ В} \quad U_{2,12.5} := I_{2,12.5} \cdot X_{2,9.5} = 954.264 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$K_{2,6.5} := \frac{X_{2,2.5}}{X_{2,2.5} + X_{2,эквV.5}} = 0.74 \quad K_{2,13.5} := \frac{X_{2,9.5}}{X_{2,9.5} + X_{2,эквVI.5}} = 0.862$$

Ток, протекающий на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$I_{2,6.5} := K_{2,6.5} \cdot I_{2,4.5} = 15.759 \text{ А} \quad I_{2,13.5} := K_{2,13.5} \cdot I_{2,11.5} = 17.906 \text{ А}$$

$$U_{2,6.5} := I_{2,6.5} \cdot X_{2,эквV.5} = 937.569 \text{ В} \quad U_{2,13.5} := I_{2,13.5} \cdot X_{2,эквVI.5} = 954.264 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$X_{2,51.5} := \frac{X_{САмурОп276.5} \cdot X_{2,2.5}}{X_{САмурОп276.5} + X_{2,2.5}} = 170.299$$

$$X_{2,52.5} := \frac{X_{СОп276Кор.5} \cdot X_{2,4.5}}{X_{СОп276Кор.5} + X_{2,4.5}} = 878.795$$

$$X_{2,53.5} := \frac{X_{СКорОп190.5} \cdot X_{2,9.5}}{X_{СКорОп190.5} + X_{2,9.5}} = 345.395$$

$$X_{2,54.5} := X_{Оп276Кор.5} + X_{2,3.5} + \frac{X_{Оп276Кор.5} \cdot X_{2,3.5}}{X_{2,3.5}} = 1.111 \times 10^3$$

$$X_{2,55.5} := X_{Оп276Кор.5} + X_{2,52.5} + \frac{X_{Оп276Кор.5} \cdot X_{2,52.5}}{X_{2,3.5}} = 1.184 \times 10^3$$

$$X_{2,56.5} := X_{2,3.5} + X_{2,52.5} + \frac{X_{2,3.5} \cdot X_{2,52.5}}{X_{Оп276Кор.5}} = 6.613 \times 10^3$$

$$X_{2.37.5} := X_{2.6.5} + X_{\text{КорОм}190.5} + \frac{X_{2.6.5} \cdot X_{\text{КорОм}190.5}}{X_{2.8.5}} = 867.404$$

$$X_{2.57.5} := X_{2.6.5} + X_{2.8.5} + \frac{X_{2.6.5} \cdot X_{2.8.5}}{X_{\text{КорОм}190.5}} = 4.654 \times 10^4$$

$$X_{2.58.5} := X_{\text{КорОм}190.5} + X_{2.8.5} + \frac{X_{\text{КорОм}190.5} \cdot X_{2.8.5}}{X_{2.6.5}} = 1.525 \times 10^3$$

$$X_{2.59.5} := \frac{X_{2.51.5} \cdot X_{2.55.5}}{X_{2.51.5} + X_{2.55.5}} = 148.881 \quad X_{2.61.5} := \frac{X_{2.7.5} \cdot X_{2.57.5}}{X_{2.7.5} + X_{2.57.5}} = 616.717$$

$$X_{2.60.5} := \frac{X_{2.56.5} \cdot X_{2.5.5}}{X_{2.56.5} + X_{2.5.5}} = 571.031 \quad X_{2.62.5} := \frac{X_{2.58.5} \cdot X_{2.9.5}}{X_{2.58.5} + X_{2.9.5}} = 273.527$$

$$X_{2.63.5} := X_{\text{АмурОм}276.5} + X_{2.54.5} + \frac{X_{\text{АмурОм}276.5} \cdot X_{2.54.5}}{X_{2.50.5}} = 2.364 \times 10^3$$

$$X_{2.64.5} := X_{\text{АмурОм}276.5} + X_{2.59.5} + \frac{X_{\text{АмурОм}276.5} \cdot X_{2.59.5}}{X_{2.54.5}} = 316.714$$

$$X_{2.65.5} := X_{2.54.5} + X_{2.59.5} + \frac{X_{2.54.5} \cdot X_{2.59.5}}{X_{\text{АмурОм}276.5}} = 2.378 \times 10^3$$

$$X_{2.66.5} := X_{2.56.5} + X_{\text{Ом}1903\text{ав}5} + \frac{X_{2.56.5} \cdot X_{\text{Ом}1903\text{ав}5}}{X_{2.62.5}} = 8.722 \times 10^3$$

$$X_{2.67.5} := X_{2.56.5} + X_{2.62.5} + \frac{X_{2.56.5} \cdot X_{2.62.5}}{X_{\text{Ом}1903\text{ав}5}} = 2.848 \times 10^4$$

$$X_{2.68.5} := X_{2.62.5} + X_{\text{Ом}1903\text{ав}5} + \frac{X_{2.62.5} \cdot X_{\text{Ом}1903\text{ав}5}}{X_{2.56.5}} = 360.936$$

$$X_{2.69.5} := \frac{X_{2.65.5} \cdot X_{2.60.5}}{X_{2.65.5} + X_{2.60.5}} = 460.465 \quad X_{2.71.5} := \frac{X_{2.68.5} \cdot X_{\text{СОм}1903\text{ав}5}}{X_{2.68.5} + X_{\text{СОм}1903\text{ав}5}} = 365.394$$

$$X_{2.70.5} := \frac{X_{2.61.5} \cdot X_{2.67.5}}{X_{2.61.5} + X_{2.67.5}} = 603.646 \quad X_{2.72.5} := \frac{X_{2.63.5} \cdot X_{2.69.5}}{X_{2.63.5} + X_{2.69.5}} = 385.4$$

$$X_{2.73.5} := \frac{X_{2.66.5} \cdot X_{2.70.5}}{X_{2.66.5} + X_{2.70.5}} = 564.572$$

$$X_{2.\text{экв}VII.5} := \frac{X_5 \cdot \frac{X_{2.64.5} \cdot X_{2.72.5}}{X_{2.64.5} + X_{2.72.5}}}{X_5 + \frac{X_{2.64.5} \cdot X_{2.72.5}}{X_{2.64.5} + X_{2.72.5}}} = 56.586 \quad X_{2.\text{экв}VIII.5} := \frac{X_{35} \cdot \frac{X_{2.73.5} \cdot X_{2.71.5}}{X_{2.73.5} + X_{2.71.5}}}{X_{35} + \frac{X_{2.73.5} \cdot X_{2.71.5}}{X_{2.73.5} + X_{2.71.5}}} = 69.246$$

Коэф. для тока протекающего на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$K_{2.7.5} := \frac{X_{2.\text{экв}VII.5}}{X_{2.1.5} + X_{2.\text{экв}VIII.5}} = 0.363 \quad K_{2.14.5} := \frac{X_{2.\text{экв}VIII.5}}{X_{2.10.5} + X_{2.\text{экв}VIII.5}} = 0.322$$

Ток, протекающий на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$I_{2.7.5} := K_{2.7.5} \cdot I_{2.6.5} = 5.721 \text{ А} \quad I_{2.14.5} := K_{2.14.5} \cdot I_{2.13.5} = 5.767 \text{ А}$$

$$U_{2.7.5} := I_{2.7.5} \cdot X_{2.1.5} = 568.033 \quad \text{В} \quad U_{2.14.5} := I_{2.14.5} \cdot X_{2.10.5} = 840.631 \quad \text{В}$$

Преобразование электрической схемы на 7 гармонике:

$$\begin{aligned}
 X_{\text{АэропОн276.7}} &:= n_2 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 69 = 207.207 \\
 X_{\text{Он276Кор.7}} &:= n_2 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 68.85 = 206.757 \\
 X_{\text{КорОн190.7}} &:= n_2 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 12.6 = 37.838 \\
 X_{\text{Он190Зав.7}} &:= n_2 \cdot X_{\text{уд300}} \cdot 39.05 = 117.267 \\
 X_{\text{САэропОн276.7}} &:= \frac{-69}{n_2 \cdot b_{\text{уд300}}} = -3.734 \times 10^4 \\
 X_{\text{СОн276Кор.7}} &:= \frac{-68.85}{n_2 \cdot b_{\text{уд300}}} = -3.726 \times 10^4 \\
 X_{\text{СКорОн190.7}} &:= \frac{-12.6}{n_2 \cdot b_{\text{уд300}}} = -6.818 \times 10^3 \\
 X_{\text{СОн190Зав.7}} &:= \frac{-39.05}{n_2 \cdot b_{\text{уд300}}} = -2.113 \times 10^4 \\
 X_{2.1.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{\text{В1}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{Н1}}}{n_2 \cdot X_{\text{Р1}} + n_2 \cdot X_{\text{Н1}}} = 139.015 \\
 X_{2.2.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{\text{В6}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{Н6}}}{n_2 \cdot X_{\text{В6}} + n_2 \cdot X_{\text{Н6}}} = 237.645 \\
 X_{2.9.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{\text{В7}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{Н7}}}{n_2 \cdot X_{\text{Р7}} + n_2 \cdot X_{\text{Н7}}} = 466.667 \\
 X_{2.10.7} &:= \frac{n_2 \cdot X_{\text{В8}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{Н8}}}{n_2 \cdot X_{\text{В8}} + n_2 \cdot X_{\text{Н8}}} = 204.083 \\
 X_{2.3.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{В4}} + n_2 \cdot X_{\text{С4}} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{В4}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{С4}}}{n_2 \cdot X_{\text{Н3}}} = 1.155 \times 10^3 \\
 X_{2.4.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{В4}} + n_2 \cdot X_{\text{Н4}} = 2.03 \times 10^3 \\
 X_{2.5.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{Н4}} + n_2 \cdot X_{\text{С4}} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{Н4}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{С4}}}{n_2 \cdot X_{\text{Р4}}} = 875 \\
 X_{2.6.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{В4}} + n_2 \cdot X_{\text{С4}} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{В4}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{С4}}}{n_2 \cdot X_{\text{Н4}}} = 1.155 \times 10^3 \\
 X_{2.7.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{Н4}} + n_2 \cdot X_{\text{С4}} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{Н4}} \cdot n_2 \cdot X_{\text{С4}}}{n_2 \cdot X_{\text{В4}}} = 875 \\
 X_{2.8.7} &:= n_2 \cdot X_{\text{В4}} + n_2 \cdot X_{\text{Н4}} = 2.03 \times 10^3 \\
 X_{2.11.7} &:= \frac{X_{\text{САэропОн276.7}} \cdot X_{2.2.7}}{X_{\text{САэропОн276.7}} + X_{2.2.7}} = 239.167 \\
 X_{2.12.7} &:= \frac{X_{\text{СОн276Кор.7}} \cdot X_{2.4.7}}{X_{\text{СОн276Кор.7}} + X_{2.4.7}} = 2.147 \times 10^3 \\
 X_{2.13.7} &:= \frac{X_{\text{СКорОн190.7}} \cdot X_{2.9.7}}{X_{\text{СКорОн190.7}} + X_{2.9.7}} = 500.954 \\
 X_{2.14.7} &:= \frac{X_{\text{СОн190Зав.7}} \cdot X_{2.10.7}}{X_{\text{СОн190Зав.7}} + X_{2.10.7}} = 206.073 \\
 X_{2.15.7} &:= X_{\text{Он276Кор.7}} + X_{2.3.7} + \frac{X_{\text{Он276Кор.7}} \cdot X_{2.3.7}}{X_{2.12.7}} = 1.473 \times 10^3 \\
 X_{2.16.7} &:= X_{\text{Он276Кор.7}} + X_{2.12.7} + \frac{X_{\text{Он276Кор.7}} \cdot X_{2.12.7}}{X_{2.3.7}} = 2.738 \times 10^3 \\
 X_{2.17.7} &:= X_{2.3.7} + X_{2.12.7} + \frac{X_{2.3.7} \cdot X_{2.12.7}}{X_{\text{Он276Кор.7}}} = 1.53 \times 10^4 \\
 X_{2.18.7} &:= X_{\text{КорОн190.7}} + X_{2.6.7} + \frac{X_{\text{КорОн190.7}} \cdot X_{2.6.7}}{X_{2.8.7}} = 1.214 \times 10^3 \\
 X_{2.19.7} &:= X_{2.6.7} + X_{2.8.7} + \frac{X_{2.6.7} \cdot X_{2.8.7}}{X_{\text{КорОн190.7}}} = 6.515 \times 10^4 \\
 X_{2.20.7} &:= X_{\text{КорОн190.7}} + X_{2.8.7} + \frac{X_{\text{КорОн190.7}} \cdot X_{2.8.7}}{X_{2.6.7}} = 2.134 \times 10^3 \\
 X_{2.21.7} &:= X_{\text{АэропОн276.7}} + X_{2.15.7} + \frac{X_{\text{АэропОн276.7}} \cdot X_{2.15.7}}{X_{2.11.7}} = 3.068 \times 10^3 \\
 X_{2.22.7} &:= X_{\text{АэропОн276.7}} + X_{2.21.7} + \frac{X_{\text{АэропОн276.7}} \cdot X_{2.21.7}}{X_{2.15.7}} = 458.103 \\
 X_{2.23.7} &:= X_{2.15.7} + X_{2.21.7} + \frac{X_{2.15.7} \cdot X_{2.21.7}}{X_{\text{АэропОн276.7}}} = 3.257 \times 10^3 \\
 X_{2.24.7} &:= X_{2.18.7} + X_{\text{Он190Зав.7}} + \frac{X_{2.18.7} \cdot X_{\text{Он190Зав.7}}}{X_{2.22.7}} = 1.683 \times 10^3 \\
 X_{2.25.7} &:= X_{2.18.7} + X_{2.22.7} + \frac{X_{2.18.7} \cdot X_{2.22.7}}{X_{\text{Он190Зав.7}}} = 5.822 \times 10^3 \\
 X_{2.21.7} &:= \frac{X_{2.11.7} \cdot X_{2.16.7}}{X_{2.11.7} + X_{2.16.7}} = 219.954 \\
 X_{2.22.7} &:= \frac{X_{2.20.7} \cdot X_{2.13.7}}{X_{2.20.7} + X_{2.13.7}} = 405.726
 \end{aligned}$$

$$X_{2.28.7} := X_{\text{Он}1903\text{ав.7}} + X_{2.22.7} + \frac{X_{\text{Он}1903\text{ав.7}} \cdot X_{2.21.7}}{X_{2.18.7}} = 544.233$$

$$X_{2.29.7} := \frac{X_{2.17.7} \cdot X_{2.24.7}}{X_{2.17.7} + X_{2.24.7}} = 106.651 \quad X_{2.31.7} := \frac{X_{2.27.7} \cdot X_{2.19.7}}{X_{2.27.7} + X_{2.19.7}} = 5.344 \times 10^3$$

$$X_{2.30.7} := \frac{X_{2.25.7} \cdot X_{2.17.7}}{X_{2.25.7} + X_{2.17.7}} = 2.685 \times 10^3 \quad X_{2.32.7} := \frac{X_{2.28.7} \cdot X_{2.14.7}}{X_{2.28.7} + X_{2.14.7}} = 149.475$$

$$X_{2.33.7} := \frac{X_{2.23.7} \cdot X_{2.29.7}}{X_{2.23.7} + X_{2.29.7}} = 103.068 \quad X_{2.\text{эквI.7}} := \frac{X_{2.33.7} \cdot X_{2.30.7}}{X_{2.33.7} + X_{2.30.7}} = 99.257$$

$$X_{2.34.7} := \frac{X_{2.26.7} \cdot X_{2.32.7}}{X_{2.26.7} + X_{2.32.7}} = 137.28 \quad X_{2.\text{эквII.7}} := \frac{X_{2.31.7} \cdot X_{2.34.7}}{X_{2.31.7} + X_{2.34.7}} = 133.842$$

$$S_{\text{нагрКор.т}} := \frac{0.85 \sqrt{(21.2)^2 + (6.8)^2} \cdot 10^3}{2} = 9.462 \times 10^3 \text{ кВт}$$

$$I_{2.7} := \frac{S_{\text{нагрКор.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = 24.832 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на X5 и X7:

$$K_{2.1.7} := \frac{X_{2.\text{эквI.7}}}{X_{2.5.7} + X_{2.\text{эквI.7}}} = 0.102 \quad K_{2.8.7} := \frac{X_{2.\text{эквII.7}}}{X_{2.7.7} + X_{2.\text{эквII.7}}} = 0.133$$

Ток, протекающий на X5 и X7:

$$I_{2.1.7} := K_{2.1.7} \cdot I_{2.7} = 2.53 \text{ А} \quad I_{2.8.7} := K_{2.8.7} \cdot I_{2.7} = 3.294 \text{ А}$$

$$U_{2.1.7} := I_{2.1.7} \cdot X_{2.5.7} = 2.214 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.8.7} := I_{2.8.7} \cdot X_{2.7.7} = 2.883 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на X3 и X6:

$$K_{2.2.7} := \frac{X_{2.5.7}}{X_{2.5.7} + X_{2.\text{эквI.7}}} = 0.898 \quad K_{2.9.7} := \frac{X_{2.7.7}}{X_{2.7.7} + X_{2.\text{эквII.7}}} = 0.867$$

Ток, протекающий на X3 и X6:

$$I_{2.2.7} := K_{2.2.7} \cdot I_{2.7} = 22.302 \text{ А} \quad I_{2.9.7} := K_{2.9.7} \cdot I_{2.7} = 21.537 \text{ А}$$

$$U_{2.2.7} := I_{2.2.7} \cdot X_{2.\text{эквI.7}} = 2.214 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.9.7} := I_{2.9.7} \cdot X_{2.\text{эквII.7}} = 2.883 \times 10^3 \text{ В}$$

2 эквивалент

$$X_{2.35.7} := \frac{X_{\text{С}Амур\text{Он}276.7} \cdot X_{2.2.7}}{X_{\text{С}Амур\text{Он}276.7} + X_{2.2.7}} = 239.167 \quad X_{2.38.7} := \frac{X_{\text{С}Он1903\text{ав.7}} \cdot X_{2.10.7}}{X_{\text{С}Он1903\text{ав.7}} + X_{2.10.7}} = 206.073$$

$$X_{2.36.7} := \frac{X_{\text{С}Кор\text{Он}190.7} \cdot X_{2.9.7}}{X_{\text{С}Кор\text{Он}190.7} + X_{2.9.7}} = 500.954$$

$$X_{2.39.7} := X_{\text{Амур}\text{Он}276.7} + X_{\text{Он}276\text{Кор.7}} + \frac{X_{\text{Амур}\text{Он}276.7} \cdot X_{\text{Он}276\text{Кор.7}}}{X_{2.35.7}} = 593.091$$

$$X_{2.40.7} := X_{\text{Амур}\text{Он}276.7} + X_{2.35.7} + \frac{X_{\text{Амур}\text{Он}276.7} \cdot X_{2.35.7}}{X_{\text{Он}276\text{Кор.7}}} = 686.062$$

$$X_{2.41.7} := X_{2.35.7} + X_{\text{Он}276\text{Кор.7}} + \frac{X_{2.35.7} \cdot X_{\text{Он}276\text{Кор.7}}}{X_{\text{Амур}\text{Он}276.7}} = 684.571$$

$$X_{2.42.7} := X_{\text{Кор}\text{Он}190.7} + X_{\text{Он}1903\text{ав.7}} + \frac{X_{\text{Кор}\text{Он}190.7} \cdot X_{\text{Он}1903\text{ав.7}}}{X_{2.36.7}} = 163.962$$

$$X_{2.43.7} := X_{\text{Кор}\text{Он}190.7} + X_{2.36.7} + \frac{X_{\text{Кор}\text{Он}190.7} \cdot X_{2.36.7}}{X_{\text{Он}1903\text{ав.7}}} = 700.432$$

$$X_{2.44.7} := X_{\text{Оп190Зав.7}} + X_{2.36.7} + \frac{X_{\text{Оп190Зав.7}} \cdot X_{2.36.7}}{X_{\text{КорОп190.7}}} = 2.171 \times 10^3$$

$$X_{2.45.7} := \frac{X_{\text{СКорОп190.7}} \cdot X_{2.41.7}}{X_{\text{СКорОп190.7}} + X_{2.41.7}} = 760.976$$

$$X_{2.46.7} := \frac{X_{2.44.7} \cdot X_{2.38.7}}{X_{2.44.7} + X_{2.38.7}} = 188.207 \quad X_{2.48.7} := \frac{X_{2.42.7} \cdot X_{2.46.7}}{X_{2.42.7} + X_{2.46.7}} = 87.625$$

$$X_{2.47.7} := \frac{X_{2.1.7} \cdot X_{2.39.7}}{X_{2.1.7} + X_{2.39.7}} = 112.618 \quad X_{2.\text{эквIII.7}} := \frac{X_{2.47.7} \cdot X_{2.45.7}}{X_{2.47.7} + X_{2.45.7}} = 98.1$$

$$X_{2.\text{эквIV.7}} := \frac{X_{2.43.7} \cdot X_{2.48.7}}{X_{2.43.7} + X_{2.48.7}} = 77.882$$

Коэф. для тока, протекающего на X4 и X8:

$$K_{2.3.7} := \frac{X_{2.\text{эквIII.7}}}{X_{2.4.7} + X_{2.\text{эквIII.7}}} = 0.046 \quad K_{2.10.7} := \frac{X_{2.\text{эквIV.7}}}{X_{2.8.7} + X_{2.\text{эквIV.7}}} = 0.037$$

Ток, протекающий на X4 и X8:

$$I_{2.7} := K_{2.3.7} \cdot I_{2.7} = 1.028 \text{ А} \quad I_{2.10.7} := K_{2.10.7} \cdot I_{2.7} = 0.796 \text{ А}$$

$$U_{2.3.7} := I_{2.3.7} \cdot X_{2.4.7} = 2.087 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.10.7} := I_{2.10.7} \cdot X_{2.8.7} = 1.615 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$K_{2.4.7} := \frac{X_{2.4.7}}{X_{2.4.7} + X_{2.\text{эквIII.7}}} = 0.954 \quad K_{2.11.7} := \frac{X_{2.8.7}}{X_{2.8.7} + X_{2.\text{эквIV.7}}} = 0.963$$

Ток, протекающий на Оп276Кор/т и Кор/тОп190:

$$I_{2.4.7} := K_{2.4.7} \cdot I_{2.7} = 21.274 \text{ А} \quad I_{2.11.7} := K_{2.11.7} \cdot I_{2.7} = 20.742 \text{ А}$$

$$U_{2.4.7} := I_{2.4.7} \cdot X_{2.\text{эквIII.7}} = 2.087 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.11.7} := I_{2.11.7} \cdot X_{2.\text{эквIV.7}} = 1.615 \times 10^3 \text{ В}$$

3 эквивалент

$$X_{2.49.7} := \frac{X_{\text{АмурОп276.7}} \cdot X_{2.1.7}}{X_{\text{АмурОп276.7}} + X_{2.1.7}} = 83.198 \quad X_{2.\text{эквV.7}} := \frac{X_{\text{САмурОп276.7}} \cdot X_{2.49.7}}{X_{\text{САмурОп276.7}} + X_{2.49.7}} = 83.383$$

$$X_{2.50.7} := \frac{X_{\text{СОп190Зав.7}} \cdot X_{2.10.7}}{X_{\text{СОп190Зав.7}} + X_{2.10.7}} = 206.073 \quad X_{2.\text{эквVI.7}} := \frac{X_{\text{Оп190Зав.7}} \cdot X_{2.50.7}}{X_{\text{Оп190Зав.7}} + X_{2.50.7}} = 74.737$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$K_{2.5.7} := \frac{X_{2.\text{эквV.7}}}{X_{2.2.7} + X_{2.\text{эквV.7}}} = 0.26 \quad K_{2.12.7} := \frac{X_{2.\text{эквVI.7}}}{X_{2.9.7} + X_{2.\text{эквVI.7}}} = 0.138$$

Ток, протекающий на ПС Белогорск(63) и ПС Хвойная:

$$I_{2.5.7} := K_{2.5.7} \cdot I_{2.7} = 5.526 \text{ А} \quad I_{2.12.7} := K_{2.12.7} \cdot I_{2.7} = 2.863 \text{ А}$$

$$U_{2.5.7} := I_{2.5.7} \cdot X_{2.2.7} = 1.313 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.12.7} := I_{2.12.7} \cdot X_{2.9.7} = 1.336 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэф. для тока, протекающего на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$K_{2.6.7} := \frac{X_{2.2.7}}{X_{2.2.7} + X_{2.\text{эквV.7}}} = 0.74 \quad K_{2.13.7} := \frac{X_{2.9.7}}{X_{2.9.7} + X_{2.\text{эквVI.7}}} = 0.862$$

Ток, протекающий на АмурОп276 и Оп190Зав:

$$I_{2.6.7} := K_{2.6.7} \cdot I_{2.7} = 15.748 \text{ А} \quad I_{2.13.7} := K_{2.13.7} \cdot I_{2.7} = 17.878 \text{ А}$$

$$U_{2.6.7} := I_{2.6.7} \cdot X_{2.\text{эквV.7}} = 1.313 \times 10^3 \text{ В} \quad U_{2.13.7} := I_{2.13.7} \cdot X_{2.\text{эквVI.7}} = 1.336 \times 10^3 \text{ В}$$

4 эквивалент

$$\begin{aligned}
 X_{2.51.7} &:= \frac{X_{CAмурОн276.7} \cdot X_{2.2.7}}{X_{CAмурОн276.7} + X_{2.2.7}} = 239.167 & X_{2.53.7} &:= \frac{X_{CKорОн190.7} \cdot X_{2.9.7}}{X_{CKорОн190.7} + X_{2.9.7}} = 500.954 \\
 X_{2.52.7} &:= \frac{X_{CОн276Kop.7} \cdot X_{2.4.7}}{X_{CОн276Kop.7} + X_{2.4.7}} = 2.147 \times 10^3 & & \\
 X_{2.54.7} &:= X_{Он276Kop.7} + X_{2.3.7} + \frac{X_{Он276Kop.7} \cdot X_{2.3.7}}{X_{2.3.7}} = 1.473 \times 10^3 & & \\
 X_{2.55.7} &:= X_{Он276Kop.7} + X_{2.52.7} + \frac{X_{Он276Kop.7} \cdot X_{2.52.7}}{X_{2.3.7}} = 2.738 \times 10^3 & X_{2.59.7} &:= \frac{X_{2.51.7} \cdot X_{2.55.7}}{X_{2.51.7} + X_{2.55.7}} = 219.954 \\
 X_{2.56.7} &:= X_{2.3.7} + X_{2.52.7} + \frac{X_{2.3.7} \cdot X_{2.52.7}}{X_{Он276Kop.7}} = 1.53 \times 10^4 & & \\
 X_{2.37.7} &:= X_{2.6.7} + X_{KорОн190.7} + \frac{X_{2.6.7} \cdot X_{KорОн190.7}}{X_{2.8.7}} = 1.214 \times 10^3 & X_{2.60.7} &:= \frac{X_{2.56.7} \cdot X_{2.5.7}}{X_{2.56.7} + X_{2.5.7}} = 827.653 \\
 X_{2.57.7} &:= X_{2.6.7} + X_{2.8.7} + \frac{X_{2.6.7} \cdot X_{2.8.7}}{X_{KорОн190.7}} = 6.515 \times 10^4 & X_{2.61.7} &:= \frac{X_{2.7.7} \cdot X_{2.57.7}}{X_{2.7.7} + X_{2.57.7}} = 863.404 \\
 X_{2.58.7} &:= X_{KорОн190.7} + X_{2.8.7} + \frac{X_{KорОн190.7} \cdot X_{2.8.7}}{X_{2.6.7}} = 2.134 \times 10^3 & X_{2.62.7} &:= \frac{X_{2.58.7} \cdot X_{2.9.7}}{X_{2.58.7} + X_{2.9.7}} = 382.938 \\
 X_{2.63.7} &:= X_{АмурОн276.7} + X_{2.54.7} + \frac{X_{АмурОн276.7} \cdot X_{2.54.7}}{X_{2.50.7}} = 3.068 \times 10^3 & & \\
 X_{2.64.7} &:= X_{АмурОн276.7} + X_{2.59.7} + \frac{X_{АмурОн276.7} \cdot X_{2.59.7}}{X_{2.54.7}} = 458.103 & & \\
 X_{2.65.7} &:= X_{2.54.7} + X_{2.59.7} + \frac{X_{2.54.7} \cdot X_{2.59.7}}{X_{АмурОн276.7}} = 3.257 \times 10^3 & & \\
 X_{2.66.7} &:= X_{2.56.7} + X_{Он1903ав.7} + \frac{X_{2.56.7} \cdot X_{Он1903ав.7}}{X_{2.62.7}} = 2.01 \times 10^4 & & \\
 X_{2.67.7} &:= X_{2.56.7} + X_{2.62.7} + \frac{X_{2.56.7} \cdot X_{2.62.7}}{X_{Он1903ав.7}} = 6.563 \times 10^4 & & \\
 X_{2.68.7} &:= X_{2.62.7} + X_{Он1903ав.7} + \frac{X_{2.62.7} \cdot X_{Он1903ав.7}}{X_{2.56.7}} = 503.141 & & \\
 X_{2.69.7} &:= \frac{X_{2.65.7} \cdot X_{2.60.7}}{X_{2.65.7} + X_{2.60.7}} = 659.931 & X_{2.71.7} &:= \frac{X_{2.68.7} \cdot X_{CОн1903ав.7}}{X_{2.68.7} + X_{CОн1903ав.7}} = 515.414 \\
 X_{2.70.7} &:= \frac{X_{2.61.7} \cdot X_{2.67.7}}{X_{2.61.7} + X_{2.67.7}} = 852.192 & X_{2.72.7} &:= \frac{X_{2.63.7} \cdot X_{2.69.7}}{X_{2.63.7} + X_{2.69.7}} = 543.102 \\
 X_{2.73.7} &:= \frac{X_{2.66.7} \cdot X_{2.70.7}}{X_{2.66.7} + X_{2.70.7}} = 817.526 & & \\
 X_{2.завVII.7} &:= \frac{X_7 \cdot \frac{X_{2.64.7} \cdot X_{2.72.7}}{X_{2.64.7} + X_{2.72.7}}}{X_7 + \frac{X_{2.64.7} \cdot X_{2.72.7}}{X_{2.64.7} + X_{2.72.7}}} = 61.832 & X_{2.завVIII.7} &:= \frac{X_{37} \cdot \frac{X_{2.73.7} \cdot X_{2.71.7}}{X_{2.73.7} + X_{2.71.7}}}{X_{37} + \frac{X_{2.73.7} \cdot X_{2.71.7}}{X_{2.73.7} + X_{2.71.7}}} = 75.26
 \end{aligned}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$K_{2.7.7} := \frac{X_{2.завVII.7}}{X_{2.1.7} + X_{2.завVII.7}} = 0.308 \quad K_{2.14.7} := \frac{X_{2.завVIII.7}}{X_{2.10.7} + X_{2.завVIII.7}} = 0.269$$

Ток, протекающий на ПС Амурская и ПС Завитая:

$$I_{2.7.7} := K_{2.7.5} \cdot I_{2.6.7} = 5.717 \quad \text{А} \quad I_{2.14.7} := K_{2.14.7} \cdot I_{2.13.7} = 4.817 \quad \text{А}$$

$$U_{2.7.7} := I_{2.7.7} \cdot X_{2.1.7} = 794.704 \quad \text{В} \quad U_{2.14.7} := I_{2.14.7} \cdot X_{2.10.7} = 983.012 \quad \text{В}$$

Преобразование линии ПС Амурская-ПС М.Чесноковская/т
Преобразование электрической схемы на 1 гармонике:

$$\begin{aligned} X_{3.1} &:= X_{H9} + X_{C9} + \frac{X_{H9} \cdot X_{C9}}{X_{R0}} = 62.5 & X_{3.3} &:= X_{B9} + X_{H9} = 145 \\ X_{3.2} &:= X_{B9} + X_{C9} + \frac{X_{B9} \cdot X_{C9}}{X_{H9}} = 82.5 & X_{3.4} &:= \frac{X_{B1} \cdot X_{H1}}{X_{B1} + X_{H1}} = 19.859 \\ X_{3.5} &:= X_{3.2} + X_{\text{АмурМЧ}} + \frac{X_{3.2} \cdot X_{\text{АмурМЧ}}}{X_{3.3}} = 85.134 & X_{3.7} &:= X_{\text{АмурМЧ}} + X_{3.3} + \frac{X_{\text{АмурМЧ}} \cdot X_{3.3}}{X_{3.2}} = 149.63 \\ X_{3.6} &:= X_{3.2} + X_{3.3} + \frac{X_{3.2} \cdot X_{3.3}}{X_{\text{АмурМЧ}}} = 7.352 \times 10^3 & X_{3.8} &:= \frac{X_{3.1} \cdot X_{3.6}}{X_{3.1} + X_{3.6}} = 61.973 \end{aligned}$$

$$X_{3.9} := \frac{X_{3.7} \cdot X_{\text{САмурМЧ}}}{X_{3.7} + X_{\text{САмурМЧ}}} = 151.154$$

$$X_{3.10} := \frac{X_{3.5} \cdot X_{3.9}}{X_{3.5} + X_{3.9}} = 54.461 \quad X_{3.экв1} := \frac{X_{3.8} \cdot X_{3.10}}{X_{3.8} + X_{3.10}} = 28.987$$

$$S_{\text{нагрМЧ}_T} := \frac{0.85 \sqrt{(48.5)^2 + 20.1^2} \cdot 10^3}{2} = 2.231 \times 10^3 \text{ кВт} \quad I_3 := \frac{S_{\text{нагрМЧ}_T}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 58.55 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_3 := \frac{X_{3.экв1}}{X_{3.4} + X_{3.экв1}} = 0.593$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{3.1} := K_3 \cdot I_3 = 34.749 \text{ А} \quad U_{3.1} := I_{3.1} \cdot X_{3.4} = 690.084 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 3 гармонике:

$$\begin{aligned} n &:= 3 \\ X_{\text{АмурМЧ}.1.3} &:= n \cdot X_{\text{уд}240} \cdot 7.72 = 10.075 & X_{\text{САмурМЧ}.1.3} &:= \frac{-7.72}{n \cdot b_{\text{уд}240}} = -9.897 \times 10^3 \\ X_{\text{АмурМЧ}.2.3} &:= n \cdot X_{\text{уд}240} \cdot 7.72 = 10.075 & X_{\text{САмурМЧ}.2.3} &:= \frac{-7.72}{n \cdot b_{\text{уд}240}} = -9.897 \times 10^3 \\ X_{\text{АмурМЧ}.3} &:= \frac{X_{\text{АмурМЧ}.1.3} \cdot X_{\text{АмурМЧ}.2.3}}{X_{\text{АмурМЧ}.1.3} + X_{\text{АмурМЧ}.2.3}} = 5.037 & X_{3.3.3} &:= n \cdot X_{B9} + n \cdot X_{H9} = 435 \\ X_{\text{САмурМЧ}.3} &:= \frac{X_{\text{САмурМЧ}.1.3} \cdot X_{\text{САмурМЧ}.2.3}}{X_{\text{САмурМЧ}.1.3} + X_{\text{САмурМЧ}.2.3}} = -4.949 \times 10^3 & X_{3.4.3} &:= \frac{n \cdot X_{B1} \cdot n \cdot X_{H1}}{n \cdot X_{B1} + n \cdot X_{H1}} = 59.578 \\ X_{3.1.3} &:= n \cdot X_{H9} + n \cdot X_{C9} + \frac{n \cdot X_{H9} \cdot n \cdot X_{C9}}{n \cdot X_{R0}} = 187.5 \\ X_{3.2.3} &:= n \cdot X_{B9} + n \cdot X_{C9} + \frac{n \cdot X_{B9} \cdot n \cdot X_{C9}}{n \cdot X_{H9}} = 247.5 \end{aligned}$$

$$X_{3.5.3} := X_{3.2.3} + X_{\text{АмурМ.Ч.3}} + \frac{X_{3.2.3} \cdot X_{\text{АмурМ.Ч.3}}}{X_{3.3.3}} = 255.403$$

$$X_{3.6.3} := X_{3.2.3} + X_{3.3.3} + \frac{X_{3.2.3} \cdot X_{3.3.3}}{X_{\text{АмурМ.Ч.3}}} = 2.206 \times 10^4 \quad X_{3.8.3} := \frac{X_{3.1.3} \cdot X_{3.6.3}}{X_{3.1.3} + X_{3.6.3}} = 185.919$$

$$X_{3.7.3} := X_{\text{АмурМ.Ч.3}} + X_{3.3.3} + \frac{X_{\text{АмурМ.Ч.3}} \cdot X_{3.3.3}}{X_{3.2.3}} = 448.891 \quad X_{3.9.3} := \frac{X_{3.7.3} \cdot X_{\text{САмурМ.Ч.3}}}{X_{3.7.3} + X_{\text{САмурМ.Ч.3}}} = 493.671$$

$$X_{3.10.3} := \frac{X_{3.5.3} \cdot X_{3.9.3}}{X_{3.5.3} + X_{3.9.3}} = 168.321 \quad X_{3.зкв1.3} := \frac{X_3 \cdot \frac{X_{3.8.3} \cdot X_{3.10.3}}{X_{3.8.3} + X_{3.10.3}}}{X_3 + \frac{X_{3.8.3} \cdot X_{3.10.3}}{X_{3.8.3} + X_{3.10.3}}} = 44.491$$

$$S_{\text{нагрМ.Ч.т}} := \frac{0.85 \sqrt{(48.5)^2 + 20.1^2} \cdot 10^3}{2} = 2.231 \times 10^4 \text{ кВт} \quad I_{3.3} := \frac{S_{\text{нагрМ.Ч.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 58.555 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{3.3} := \frac{X_{3.зкв1.3}}{X_{3.4.3} + X_{3.зкв1.3}} = 0.428$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{3.1.3} := K_{3.3} \cdot I_{3.3} = 25.033 \text{ А} \quad U_{3.1.3} := I_{3.1.3} \cdot X_{3.4.3} = 1.491 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 5 гармонике:

$$n_1 := 5$$

$$X_{\text{АмурМ.Ч.1.5}} := n_1 \cdot X_{\text{уд240}} \cdot 7.72 = 16.791$$

$$X_{\text{АмурМ.Ч.2.5}} := n_1 \cdot X_{\text{уд240}} \cdot 7.72 = 16.791$$

$$X_{\text{АмурМ.Ч.5}} := \frac{X_{\text{АмурМ.Ч.1.5}} \cdot X_{\text{АмурМ.Ч.2.5}}}{X_{\text{АмурМ.Ч.1.5}} + X_{\text{АмурМ.Ч.2.5}}} = 8.395 \quad X_{3.4.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B1} \cdot n_1 \cdot X_{H1}}{n_1 \cdot X_{B1} + n_1 \cdot X_{H1}} = 99.296$$

$$X_{\text{САмурМ.Ч.1.5}} := \frac{-7.72}{n_1 \cdot b_{\text{уд240}}} = -5.938 \times 10^3 \quad X_{3.1.5} := n_1 \cdot X_{H9} + n_1 \cdot X_{C9} + \frac{n_1 \cdot X_{H9} \cdot n_1 \cdot X_{C9}}{n_1 \cdot X_{H9} + n_1 \cdot X_{C9}} = 312.5$$

$$X_{\text{САмурМ.Ч.2.5}} := \frac{-7.72}{n_1 \cdot b_{\text{уд240}}} = -5.938 \times 10^3 \quad X_{3.2.5} := n_1 \cdot X_{B9} + n_1 \cdot X_{C9} + \frac{n_1 \cdot X_{B9} \cdot n_1 \cdot X_{C9}}{n_1 \cdot X_{B9} + n_1 \cdot X_{C9}} = 412.5$$

$$X_{\text{САмурМ.Ч.5}} := \frac{X_{\text{САмурМ.Ч.1.5}} \cdot X_{\text{САмурМ.Ч.2.5}}}{X_{\text{САмурМ.Ч.1.5}} + X_{\text{САмурМ.Ч.2.5}}} = -2.969 \times 10^3 \quad X_{3.3.5} := n_1 \cdot X_{B9} + n_1 \cdot X_{H9} = 725$$

$$X_{3.5.5} := X_{3.2.5} + X_{\text{АмурМ.Ч.5}} + \frac{X_{3.2.5} \cdot X_{\text{АмурМ.Ч.5}}}{X_{3.3.5}} = 425.672$$

$$X_{3.6.5} := X_{3.2.5} + X_{3.3.5} + \frac{X_{3.2.5} \cdot X_{3.3.5}}{X_{\text{АмурМ.Ч.5}}} = 3.676 \times 10^4 \quad X_{3.8.5} := \frac{X_{3.1.5} \cdot X_{3.6.5}}{X_{3.1.5} + X_{3.6.5}} = 309.866$$

$$X_{3.7.5} := X_{\text{АмурМ.Ч.5}} + X_{3.3.5} + \frac{X_{\text{АмурМ.Ч.5}} \cdot X_{3.3.5}}{X_{3.2.5}} = 748.151 \quad X_{3.9.5} := \frac{X_{3.7.5} \cdot X_{\text{САмурМ.Ч.5}}}{X_{3.7.5} + X_{\text{САмурМ.Ч.5}}} = 1 \times 10^3$$

$$X_{3.зкв1.5} := \frac{X_5 \cdot \frac{X_{3.8.5} \cdot X_{3.10.5}}{X_{3.8.5} + X_{3.10.5}}}{X_5 + \frac{X_{3.8.5} \cdot X_{3.10.5}}{X_{3.8.5} + X_{3.10.5}}} = 54.065 \quad X_{3.10.5} := \frac{X_{3.5.5} \cdot X_{3.9.5}}{X_{3.5.5} + X_{3.9.5}} = 298.591$$

$$S_{\text{нагрМЧ}_7} := \frac{0.85 \sqrt{(48.5)^2 + 20.1^2} \cdot 10^3}{2} = 2.231 \times 10^4 \text{ кВт} \quad I_{3.5} := \frac{S_{\text{нагрМЧ}_7}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = 58.555 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{3.5} := \frac{X_{3.звл1.5}}{X_{3.4.5} + X_{3.звл1.5}} = 0.353$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{3.1.5} := K_{3.5} \cdot I_{3.5} = 20.643 \text{ А} \quad U_{3.1.5} := I_{3.1.5} \cdot X_{3.4.5} = 2.05 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 7 гармонике: $n_2 := 7$

$$X_{\text{АмурМЧ}1.7} := n_2 \cdot X_{\text{уд}240} \cdot 7.72 = 23.507$$

$$X_{\text{САмурМЧ}1.7} := \frac{-7.72}{n_2 \cdot b_{\text{уд}240}} = -4.242 \times 10^3$$

$$X_{\text{АмурМЧ}2.7} := n_2 \cdot X_{\text{уд}240} \cdot 7.72 = 23.507$$

$$X_{\text{АмурМЧ}7} := \frac{X_{\text{АмурМЧ}1.7} \cdot X_{\text{АмурМЧ}2.7}}{X_{\text{АмурМЧ}1.7} + X_{\text{АмурМЧ}2.7}} = 11.754$$

$$X_{\text{САмурМЧ}2.7} := \frac{-7.72}{n_2 \cdot b_{\text{уд}240}} = -4.242 \times 10^3$$

$$X_{\text{САмурМЧ}7} := \frac{X_{\text{САмурМЧ}1.7} \cdot X_{\text{САмурМЧ}2.7}}{X_{\text{САмурМЧ}1.7} + X_{\text{САмурМЧ}2.7}} = -2.121 \times 10^3$$

$$X_{3.3.7} := n_2 \cdot X_{\text{В}9} + n_2 \cdot X_{\text{Н}9} = 1.015 \times 10^3$$

$$X_{3.1.7} := n_2 \cdot X_{\text{Н}9} + n_2 \cdot X_{\text{С}9} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{Н}9} \cdot n_2 \cdot X_{\text{С}9}}{n_2 \cdot X_{\text{В}9}} = 437.5$$

$$X_{3.4.7} := \frac{n_2 \cdot X_{\text{В}1} \cdot n_2 \cdot X_{\text{Н}1}}{n_2 \cdot X_{\text{В}1} + n_2 \cdot X_{\text{Н}1}} = 139.015$$

$$X_{3.2.7} := n_2 \cdot X_{\text{В}9} + n_2 \cdot X_{\text{С}9} + \frac{n_2 \cdot X_{\text{В}9} \cdot n_2 \cdot X_{\text{С}9}}{n_2 \cdot X_{\text{Н}9}} = 577.5$$

$$X_{3.5.7} := X_{3.2.7} + X_{\text{АмурМЧ}7} + \frac{X_{3.2.7} \cdot X_{\text{АмурМЧ}7}}{X_{3.3.7}} = 595.941$$

$$X_{3.6.7} := X_{3.2.7} + X_{3.3.7} + \frac{X_{3.2.7} \cdot X_{3.3.7}}{X_{\text{АмурМЧ}7}} = 5.146 \times 10^4$$

$$X_{3.8.7} := \frac{X_{3.1.7} \cdot X_{3.6.7}}{X_{3.1.5} + X_{3.6.7}} = 434.859$$

$$X_{3.7.7} := X_{\text{АмурМЧ}7} + X_{3.3.7} + \frac{X_{\text{АмурМЧ}7} \cdot X_{3.3.7}}{X_{3.2.7}} = 1.047 \times 10^3$$

$$X_{3.9.7} := \frac{X_{3.7.7} \cdot X_{\text{САмурМЧ}7}}{X_{3.7.7} + X_{\text{САмурМЧ}7}} = 2.069 \times 10^3$$

$$X_{3.10.7} := \frac{X_{3.5.7} \cdot X_{3.9.7}}{X_{3.5.7} + X_{3.9.7}} = 462.695$$

$$X_{3.звл1.7} := \frac{X_7 \cdot \frac{X_{3.8.7} \cdot X_{3.10.7}}{X_{3.8.7} + X_{3.10.7}}}{X_7 + \frac{X_{3.8.7} \cdot X_{3.10.7}}{X_{3.8.7} + X_{3.10.7}}} = 60.206$$

$$S_{\text{нагрМЧ}_7} := \frac{0.85 \sqrt{(48.5)^2 + 20.1^2} \cdot 10^3}{2} = 2.231 \times 10^4 \text{ кВт}$$

$$I_{3.7} := \frac{S_{\text{нагрМЧ}_7}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = 58.555 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Амурская:

$$K_{3.7} := \frac{X_{3.звл1.7}}{X_{3.4.7} + X_{3.звл1.7}} = 0.302$$

Ток, протекающий на ПС Амурская:

$$I_{3.1.7} := K_{3.7} \cdot I_{3.7} = 17.696 \text{ А} \quad U_{3.1.7} := I_{3.1.7} \cdot X_{3.4.7} = 2.46 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование линии ПС Амурская-ПС Завитая/т

Преобразование электрической схемы на 1 гармонике:

$$\begin{aligned}
 X_{4.1} &:= X_{H10} + X_{C10} + \frac{X_{H10} \cdot X_{C10}}{X_{B10}} = 62.5 & X_{4.3} &:= X_{B10} + X_{H10} = 145 \\
 X_{4.2} &:= X_{B10} + X_{C10} + \frac{X_{B10} \cdot X_{C10}}{X_{H10}} = 82.5 & X_{4.4} &:= \frac{X_{B8} \cdot X_{H8}}{X_{B8} + X_{H8}} = 29.155 \\
 X_{4.5} &:= X_{4.2} + X_{3ав3ав_г} + \frac{X_{4.2} \cdot X_{3ав3ав_г}}{X_{4.3}} = 85.124 & X_{4.7} &:= X_{3ав3ав_г} + X_{4.3} + \frac{X_{3ав3ав_г} \cdot X_{4.3}}{X_{4.2}} = 149.612 \\
 X_{4.6} &:= X_{4.2} + X_{4.3} + \frac{X_{4.2} \cdot X_{4.3}}{X_{3ав3ав_г}} = 7.38 \times 10^3 & X_{4.8} &:= \frac{X_{4.1} \cdot X_{4.6}}{X_{4.1} + X_{4.6}} = 61.975 \\
 X_{4.9} &:= \frac{X_{4.7} \cdot X_{C3ав3ав_г}}{X_{4.7} + X_{C3ав3ав_г}} = 151.141 & X_{4.10} &:= \frac{X_{4.5} \cdot X_{4.9}}{X_{4.5} + X_{4.9}} = 54.455 & X_{4.экв1} &:= \frac{X_{4.8} \cdot X_{4.10}}{X_{4.8} + X_{4.10}} = 28.986
 \end{aligned}$$

$$S_{нагр3ав_г} := \frac{0.85 \sqrt{(20.7)^2 + 11.2^2} \cdot 10^3}{2} = 1 \times 10^4 \text{ кВт}$$

$$I_4 := \frac{S_{нагр3ав_г}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 26.25 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Завитая:

$$K_4 := \frac{X_{4.экв1}}{X_{4.4} + X_{4.экв1}} = 0.499$$

Ток, протекающий на ПС Завитая:

$$I_{4.1} := K_4 \cdot I_4 = 13.087 \text{ А} \quad U_{4.1} := I_{4.1} \cdot X_{4.4} = 381.549 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 3 гармонике: $n := 3$

$$X_{3ав3ав_г1.3} := n \cdot X_{уд240} \cdot 7.69 = 10.035$$

$$X_{C3ав3ав_г1.3} := \frac{-7.69}{n \cdot b_{уд240}} = -9.859 \times 10^3$$

$$X_{3ав3ав_г2.3} := n \cdot X_{уд240} \cdot 7.69 = 10.035$$

$$X_{C3ав3ав_г2.3} := \frac{-7.69}{n \cdot b_{вн240}} = -9.859 \times 10^3$$

$$X_{3ав3ав_г3} := \frac{X_{3ав3ав_г1.3} \cdot X_{3ав3ав_г2.3}}{X_{3ав3ав_г1.3} + X_{3ав3ав_г2.3}} = 5.018$$

$$X_{C3ав3ав_г3} := \frac{X_{C3ав3ав_г1.3} \cdot X_{C3ав3ав_г2.3}}{X_{C3ав3ав_г1.3} + X_{C3ав3ав_г2.3}} = -4.929 \times 10^3$$

$$X_{4.3.3} := n \cdot X_{B10} + n \cdot X_{H10} = 435$$

$$X_{4.1.3} := n \cdot X_{H10} + n \cdot X_{C10} + \frac{n \cdot X_{H10} \cdot n \cdot X_{C10}}{n \cdot X_{B10}} = 187.5$$

$$X_{4.2.3} := n \cdot X_{B10} + n \cdot X_{C10} + \frac{n \cdot X_{B10} \cdot n \cdot X_{C10}}{n \cdot X_{H10}} = 247.5$$

$$X_{4.4.3} := \frac{n \cdot X_{B8} \cdot n \cdot X_{H8}}{n \cdot X_{B8} + n \cdot X_{H8}} = 87.464$$

$$X_{4.5.3} := X_{4.2.3} + X_{3ав3ав_г3} + \frac{X_{4.2.3} \cdot X_{3ав3ав_г3}}{X_{4.3.3}} = 255.373$$

$$X_{4.6.3} := X_{4.2.3} + X_{4.3.3} + \frac{X_{4.2.3} \cdot X_{4.3.3}}{X_{3ав3ав_г3}} = 2.214 \times 10^4$$

$$X_{4.8.3} := \frac{X_{4.1.3} \cdot X_{4.6.3}}{X_{4.1.3} + X_{4.6.3}} = 185.925$$

$$X_{4.7.3} := X_{3ав3ав_г3} + X_{4.3.3} + \frac{X_{3ав3ав_г3} \cdot X_{4.3.3}}{X_{4.2.3}} = 448.837$$

$$X_{4.9.3} := \frac{X_{4.7.3} \cdot X_{C3ав3ав_г3}}{X_{4.7.3} + X_{C3ав3ав_г3}} = 493.798$$

$$X_{4.10.3} := \frac{X_{4.5.3} \cdot X_{4.9.3}}{X_{4.5.3} + X_{4.9.3}} = 168.323$$

$$X_{4.экв1.3} := \frac{X_{33} \cdot \frac{X_{4.8.3} \cdot X_{4.10.3}}{X_{4.8.3} + X_{4.10.3}}}{X_{33} + \frac{X_{4.8.3} \cdot X_{4.10.3}}{X_{4.8.3} + X_{4.10.3}}} = 48.504$$

$$S_{нагрЗав_г} := \frac{0.85 \sqrt{(20.7)^2 + 11.2^2} \cdot 10^3}{2} = 1 \times 10^4 \text{ кВт} \quad I_{4.3} := \frac{S_{нагрЗав_г}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 26.25 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Завитая:

$$K_{4.3} := \frac{X_{4.экв1.3}}{X_{4.4.3} + X_{4.экв1.3}} = 0.357$$

Ток, протекающий на ПС Завитая:

$$I_{4.1.3} := K_{4.3} \cdot I_{4.3} = 9.364 \text{ А} \quad U_{4.1.3} := I_{4.1.3} \cdot X_{4.4.3} = 819.035 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 5 гармс

$$X_{ЗавЗав_г1.5} := n_1 \cdot X_{уд240} \cdot 7.69 = 16.726 \quad X_{CЗавЗав_г1.5} := \frac{-7.69}{n_1 \cdot b_{уд240}} = -5.915 \times 10^3$$

$$X_{ЗавЗав_г2.5} := n_1 \cdot X_{уд240} \cdot 7.69 = 16.726 \quad X_{CЗавЗав_г2.5} := \frac{-7.69}{n_1 \cdot b_{уд240}} = -5.915 \times 10^3$$

$$X_{ЗавЗав_г.5} := \frac{X_{ЗавЗав_г1.5} \cdot X_{ЗавЗав_г2.5}}{X_{ЗавЗав_г1.5} + X_{ЗавЗав_г2.5}} = 8.363 \quad X_{CЗавЗав_г.5} := \frac{X_{CЗавЗав_г1.5} \cdot X_{CЗавЗав_г2.5}}{X_{CЗавЗав_г1.5} + X_{CЗавЗав_г2.5}} = -2.958 \times 10^3$$

$$X_{4.1.5} := n_1 \cdot X_{H10} + n_1 \cdot X_{C10} + \frac{n_1 \cdot X_{H10} \cdot n_1 \cdot X_{C10}}{n_1 \cdot X_{H10}} = 312.5 \quad X_{4.3.5} := n_1 \cdot X_{B10} + n_1 \cdot X_{H10} = 725$$

$$X_{4.2.5} := n_1 \cdot X_{B10} + n_1 \cdot X_{C10} + \frac{n_1 \cdot X_{B10} \cdot n_1 \cdot X_{C10}}{n_1 \cdot X_{H10}} = 412.5 \quad X_{4.4.5} := \frac{n_1 \cdot X_{B8} \cdot n_1 \cdot X_{H8}}{n_1 \cdot X_{B8} + n_1 \cdot X_{H8}} = 145.774$$

$$X_{4.5.5} := X_{4.2.5} + X_{ЗавЗав_г.5} + \frac{X_{4.2.5} \cdot X_{ЗавЗав_г.5}}{X_{4.3.5}} = 425.621$$

$$X_{4.6.5} := X_{4.2.5} + X_{4.3.5} + \frac{X_{4.2.5} \cdot X_{4.3.5}}{X_{ЗавЗав_г.5}} = 3.69 \times 10^4 \quad X_{4.8.5} := \frac{X_{4.1.5} \cdot X_{4.6.5}}{X_{4.1.5} + X_{4.6.5}} = 309.876$$

$$X_{4.7.5} := X_{ЗавЗав_г.5} + X_{4.3.5} + \frac{X_{ЗавЗав_г.5} \cdot X_{4.3.5}}{X_{4.2.5}} = 748.061 \quad X_{4.9.5} := \frac{X_{4.7.5} \cdot X_{CЗавЗав_г.5}}{X_{4.7.5} + X_{CЗавЗав_г.5}} = 1.001 \times 10^3$$

$$X_{4.10.5} := \frac{X_{4.5.5} \cdot X_{4.9.5}}{X_{4.5.5} + X_{4.9.5}} = 298.668$$

$$X_{4.экв1.5} := \frac{X_{35} \cdot \frac{X_{4.8.5} \cdot X_{4.10.5}}{X_{4.8.5} + X_{4.10.5}}}{X_{35} + \frac{X_{4.8.5} \cdot X_{4.10.5}}{X_{4.8.5} + X_{4.10.5}}} = 60.575$$

$$S_{нагрЗав_г} := \frac{0.85 \sqrt{(20.7)^2 + 11.2^2} \cdot 10^3}{2} = 1 \times 10^4 \text{ кВт} \quad I_{4.5} := \frac{S_{нагрЗав_г}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 26.25 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Завитая:

$$K_{4.5} := \frac{X_{4.экв1.5}}{X_{4.4.5} + X_{4.экв1.5}} = 0.294$$

Ток, протекающий на ПС Завитая:

$$I_{4.1.5} := K_{4.5} \cdot I_{4.5} = 7.706 \text{ А} \quad U_{4.1.5} := I_{4.1.5} \cdot X_{4.4.5} = 1.123 \times 10^3 \text{ В}$$

Преобразование электрической схемы на 7 гармонике:

$$X_{3ав3ав_r1.7} := n_2 \cdot X_{уд240} \cdot 7.69 = 23.416$$

$$X_{3ав3ав_r2.7} := n_2 \cdot X_{уд240} \cdot 7.69 = 23.416$$

$$X_{3ав3ав_r.7} := \frac{X_{3ав3ав_r1.7} \cdot X_{3ав3ав_r2.7}}{X_{3ав3ав_r1.7} + X_{3ав3ав_r2.7}} = 11.708$$

$$X_{C3ав3ав_r1.7} := \frac{-7.69}{n_2 \cdot b_{уд240}} = -4.225 \times 10^3$$

$$X_{C3ав3ав_r2.7} := \frac{-7.69}{n_2 \cdot b_{уд240}} = -4.225 \times 10^3$$

$$X_{C3ав3ав_r.7} := \frac{X_{C3ав3ав_r1.7} \cdot X_{C3ав3ав_r2.7}}{X_{C3ав3ав_r1.7} + X_{C3ав3ав_r2.7}} = -2.113 \times 10^3$$

$$X_{4.1.7} := n_2 \cdot X_{H10} + n_2 \cdot X_{C10} + \frac{n_2 \cdot X_{H10} \cdot n_2 \cdot X_{C10}}{n_2 \cdot X_{B10}} = 437.5$$

$$X_{4.3.7} := n_2 \cdot X_{B10} + n_2 \cdot X_{H10} = 1.015 \times 10^3$$

$$X_{4.2.7} := n_2 \cdot X_{B10} + n_2 \cdot X_{C10} + \frac{n_2 \cdot X_{B10} \cdot n_2 \cdot X_{C10}}{n_2 \cdot X_{H10}} = 577.5$$

$$X_{4.4.7} := \frac{n_2 \cdot X_{B8} \cdot n_2 \cdot X_{H8}}{n_2 \cdot X_{B8} + n_2 \cdot X_{H8}} = 204.083$$

$$X_{4.5.7} := X_{4.2.7} + X_{3ав3ав_r.7} + \frac{X_{4.2.7} \cdot X_{3ав3ав_r.7}}{X_{4.3.7}} = 595.869$$

$$X_{4.6.7} := X_{4.2.7} + X_{4.3.7} + \frac{X_{4.2.7} \cdot X_{4.3.7}}{X_{3ав3ав_r.7}} = 5.166 \times 10^4$$

$$X_{4.8.7} := \frac{X_{4.1.7} \cdot X_{4.6.7}}{X_{4.1.7} + X_{4.6.7}} = 433.826$$

$$X_{4.7.7} := X_{3ав3ав_r.7} + X_{4.3.7} + \frac{X_{3ав3ав_r.7} \cdot X_{4.3.7}}{X_{4.2.7}} = 1.047 \times 10^3$$

$$X_{4.9.7} := \frac{X_{4.7.7} \cdot X_{C3ав3ав_r.7}}{X_{4.7.7} + X_{C3ав3ав_r.7}} = 2.077 \times 10^3$$

$$X_{4.10.7} := \frac{X_{4.5.7} \cdot X_{4.9.7}}{X_{4.5.7} + X_{4.9.7}} = 463.021$$

$$X_{4.эвл.7} := \frac{X_{37} \cdot \frac{X_{4.8.7} \cdot X_{4.10.7}}{X_{4.8.7} + X_{4.10.7}}}{X_{37} + \frac{X_{4.8.7} \cdot X_{4.10.7}}{X_{4.8.7} + X_{4.10.7}}} = 68.546$$

$$S_{нагр3ав_r} := \frac{0.85 \sqrt{(20.7)^2 + 11.2^2} \cdot 10^3}{2} = 1 \times 10^4 \text{ кВт} \quad I_{4.7} := \frac{S_{нагр3ав_r}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 26.25 \text{ А}$$

Коэф. для тока, протекающего на ПС Завитая:

$$K_{4.7} := \frac{X_{4.эвл.7}}{X_{4.4.7} + X_{4.эвл.7}} = 0.251$$

Ток, протекающий на ПС Завитая:

$$I_{4.1.7} := K_{4.7} \cdot I_{4.7} = 6.6 \text{ А} \quad U_{4.1.7} := I_{4.1.7} \cdot X_{4.4.7} = 1.347 \times 10^3 \text{ В}$$

Коэффициент несинусоидальности на:

ПС Завитая

$$I_3 := \sqrt{I_{1.16}^2 + I_{2.14}^2 + I_{4.1}^2} = 30.91 \text{ А}$$

$$I_{3.3} := \sqrt{I_{1.16.3}^2 + I_{2.14.3}^2 + I_{4.1.3}^2} = 21.243 \text{ А}$$

$$I_{3.5} := \sqrt{I_{1.16.5}^2 + I_{2.14.5}^2 + I_{4.1.5}^2} = 17.1 \text{ А}$$

$$I_{3.7} := \sqrt{I_{1.16.7}^2 + I_{2.14.7}^2 + I_{4.1.7}^2} = 14.392 \text{ А}$$

$$U_3 := I_3 \cdot X_{1.11} = 901.158 \text{ В}$$

$$U_{3.3} := I_{3.3} \cdot X_{1.11.3} = 1.858 \times 10^3 \text{ В}$$

ПС Амурская

$$I_A := \sqrt{I_{1.9}^2 + I_{2.7}^2 + I_{3.1}^2} = 48.41 \text{ А}$$

$$I_{A.3} := \sqrt{I_{1.9.3}^2 + I_{2.7.3}^2 + I_{3.1.3}^2} = 30.954 \text{ А}$$

$$I_{A.5} := \sqrt{I_{1.9.5}^2 + I_{2.7.5}^2 + I_{3.1.5}^2} = 25.543 \text{ А}$$

$$I_{A.7} := \sqrt{I_{1.9.7}^2 + I_{2.7.7}^2 + I_{3.1.7}^2} = 22.091 \text{ А}$$

$$U_A := I_A \cdot X_{1.1} = 961.546 \text{ В}$$

$$U_{A.3} := I_{A.3} \cdot X_{1.1.3} = 1.844 \times 10^3 \text{ В}$$

$$U_{3.5} := I_{3.5} \cdot X_{1.11.5} = 2.493 \times 10^3 \text{ В}$$

$$U_{3.7} := I_{3.7} \cdot X_{1.11.7} = 2.937 \times 10^3 \text{ В}$$

$$K_{U\Sigma} := \frac{\sqrt{U_{3.3}^2 + U_{3.5}^2 + U_{3.7}^2}}{U_{\text{н}} \cdot 10^3} \cdot 100 = 1.944$$

$$U_{A.5} := I_{A.5} \cdot X_{1.1.5} = 2.536 \times 10^3 \text{ В}$$

$$U_{A.7} := I_{A.7} \cdot X_{1.1.7} = 3.071 \times 10^3 \text{ В}$$

$$K_{U\Sigma} := \frac{\sqrt{U_{A.3}^2 + U_{A.5}^2 + U_{A.7}^2}}{U_{\text{н}} \cdot 10^3} \cdot 100 = 1.995$$

Приложение Д

Расчёт потерь в сети, обусловленных низким качеством электроэнергии в программе Mathcad

Расчёт потерь существующего участка сети:

$$k_3 := 2 \quad k_5 := 2.1 \quad k_7 := 2.5 \quad n := 3 \quad n_1 := 5 \quad n_2 := 7 \quad R_{КЗ} := 2.85 \text{ Ом} \quad R_{КА} := 0.7 \text{ Ом}$$

$$I_{3,3} := 49.873 \text{ А} \quad I_{3,5} := 50.098 \text{ А} \quad I_{3,7} := 50.557 \text{ А}$$

$$I_{A,3} := 67.973 \text{ А} \quad I_{A,5} := 68.546 \text{ А} \quad I_{A,7} := 69.551 \text{ А}$$

Потери в СТ с учётом влияния токов ВГ:

ПС Завитая

$$\Delta P_{3,3} := 3 \cdot I_{3,3}^2 \cdot R_{КЗ} \cdot k_3 \cdot 10^{-6} = 0.043 \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{3,5} := 3 \cdot I_{3,5}^2 \cdot R_{КЗ} \cdot k_5 \cdot 10^{-6} = 0.045 \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{3,7} := 3 \cdot I_{3,7}^2 \cdot R_{КЗ} \cdot k_7 \cdot 10^{-6} = 0.055 \text{ МВт}$$

ПС Амурская

$$\Delta P_{A,3} := 3 \cdot I_{A,3}^2 \cdot R_{КА} \cdot k_3 \cdot 10^{-6} = 0.019 \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{A,5} := 3 \cdot I_{A,5}^2 \cdot R_{КА} \cdot k_5 \cdot 10^{-6} = 0.021 \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{A,7} := 3 \cdot I_{A,7}^2 \cdot R_{КА} \cdot k_7 \cdot 10^{-6} = 0.025 \text{ МВт}$$

Расчёт потерь на участке сети с фильтрами:

$$I_{3,3.1} := 14.392 \text{ А} \quad I_{A,3.1} := 20.93 \text{ А}$$

$$I_{3,5.1} := 17.1 \text{ А} \quad I_{A,5.1} := 24.425 \text{ А}$$

$$I_{3,7.1} := 21.243 \text{ А} \quad I_{A,7.1} := 30.02 \text{ А}$$

ПС Завитая

$$\Delta P_{3,3.1} := 3 \cdot I_{3,3.1}^2 \cdot R_{КЗ} \cdot k_3 \cdot 10^{-6} = 3.542 \times 10^{-3} \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{3,5.1} := 3 \cdot I_{3,5.1}^2 \cdot R_{КЗ} \cdot k_5 \cdot 10^{-6} = 5.25 \times 10^{-3} \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{3,7.1} := 3 \cdot I_{3,7.1}^2 \cdot R_{КЗ} \cdot k_7 \cdot 10^{-6} = 9.646 \times 10^{-3} \text{ МВт}$$

ПС Амурская

$$\Delta P_{A,3.1} := 3 \cdot I_{A,3.1}^2 \cdot R_{КА} \cdot k_3 \cdot 10^{-6} = 1.84 \times 10^{-3} \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{A,5.1} := 3 \cdot I_{A,5.1}^2 \cdot R_{КА} \cdot k_5 \cdot 10^{-6} = 2.631 \times 10^{-3} \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{A,7.1} := 3 \cdot I_{A,7.1}^2 \cdot R_{КА} \cdot k_7 \cdot 10^{-6} = 4.731 \times 10^{-3} \text{ МВт}$$

Потери в ЛЭП с учётом влияния токов ВГ:

Расчёт потерь в ЛЭП

$$R_{уд240} := 0.121 \quad \text{Ом/км}$$

$$R_{уд300} := 0.098 \quad \text{Ом/км}$$

$$R_{АмурМ.ч.1} := R_{уд240} \cdot 7.72 = 0.934$$

$$R_{\text{АмурМ.Ч.2}} := R_{\text{уд240}} \cdot 7.72 = 0.934$$

$$R_{\text{АмурМ.Ч.}} := \frac{R_{\text{АмурМ.Ч.1}} \cdot R_{\text{АмурМ.Ч.2}}}{R_{\text{АмурМ.Ч.1}} + R_{\text{АмурМ.Ч.2}}} = 0.467$$

$$R_{\text{Б.тХв}} := R_{\text{уд240}} \cdot (82.24 + 0.89) = 10.059$$

ПС Белогорск/т -ПС Хвойная ПС М.Чесноковская/т -ПС Амурская

$$I_{\text{Б.тХв}} := 52.332 \text{ A} \qquad I_{\text{АмурМ.Ч.}} := 34.749 \text{ A}$$

$$I_{\text{Б.тХв.3}} := 52.322 \text{ A} \qquad I_{\text{АмурМ.Ч.3}} := 34.971 \text{ A}$$

$$I_{\text{Б.тХв.5}} := 52.302 \text{ A} \qquad I_{\text{АмурМ.Ч.5}} := 35.424 \text{ A}$$

$$I_{\text{Б.тХв.7}} := 52.271 \text{ A} \qquad I_{\text{АмурМ.Ч.7}} := 36.142 \text{ A}$$

$$k_{\text{R300.3}} := 2.8 \quad k_{\text{R300.5}} := 3 \quad k_{\text{R300.7}} := 3.8$$

$$k_{\text{R240.3}} := 2.5 \quad k_{\text{R240.5}} := 2.8 \quad k_{\text{R240.7}} := 3.5$$

$$\Delta P_{\text{Б.тХв.3}} := 3 \cdot I_{\text{Б.тХв.3}}^2 \cdot R_{\text{Б.тХв}} \cdot k_{\text{R240.3}} \cdot 10^{-6} = 0.207 \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{\text{Б.тХв.5}} := 3 \cdot I_{\text{Б.тХв.5}}^2 \cdot R_{\text{Б.тХв}} \cdot k_{\text{R240.5}} \cdot 10^{-6} = 0.231 \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{\text{Б.тХв.7}} := 3 \cdot I_{\text{Б.тХв.7}}^2 \cdot R_{\text{Б.тХв}} \cdot k_{\text{R240.7}} \cdot 10^{-6} = 0.289 \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{\text{АмурМ.Ч.3}} := 3 \cdot I_{\text{АмурМ.Ч.3}}^2 \cdot R_{\text{АмурМ.Ч.}} \cdot k_{\text{R300.3}} \cdot 10^{-6} = 4.798 \times 10^{-3} \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{\text{АмурМ.Ч.5}} := 3 \cdot I_{\text{АмурМ.Ч.5}}^2 \cdot R_{\text{АмурМ.Ч.}} \cdot k_{\text{R300.5}} \cdot 10^{-6} = 5.275 \times 10^{-3} \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{\text{АмурМ.Ч.7}} := 3 \cdot I_{\text{АмурМ.Ч.7}}^2 \cdot R_{\text{АмурМ.Ч.}} \cdot k_{\text{R300.7}} \cdot 10^{-6} = 6.955 \times 10^{-3} \text{ МВт}$$

Расчёт потерь на участке сети с фильтрами:

ПС Белогорск/т -ПС Хвойная ПС М.Чесноковская/т -ПС Амурская

$$I_{\text{Б.тХв}} := 22.332 \text{ A} \qquad I_{\text{АмурМ.Ч.}} := 17.749 \text{ A}$$

$$I_{\text{Б.тХв.3}} := 22.322 \text{ A} \qquad I_{\text{АмурМ.Ч.3}} := 17.971 \text{ A}$$

$$I_{\text{Б.тХв.5}} := 22.302 \text{ A} \qquad I_{\text{АмурМ.Ч.5}} := 17.424 \text{ A}$$

$$I_{\text{Б.тХв.7}} := 22.271 \text{ A} \qquad I_{\text{АмурМ.Ч.7}} := 17.142 \text{ A}$$

$$\Delta P_{\text{Б.тХв.3}} := 3 \cdot I_{\text{Б.тХв.3}}^2 \cdot R_{\text{Б.тХв}} \cdot k_{\text{R240.3}} \cdot 10^{-6} = 0.038 \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{\text{Б.тХв.5}} := 3 \cdot I_{\text{Б.тХв.5}}^2 \cdot R_{\text{Б.тХв}} \cdot k_{\text{R240.5}} \cdot 10^{-6} = 0.042 \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{\text{Б.тХв.7}} := 3 \cdot I_{\text{Б.тХв.7}}^2 \cdot R_{\text{Б.тХв}} \cdot k_{\text{R240.7}} \cdot 10^{-6} = 0.052 \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{\text{АмурМ.Ч.3}} := 3 \cdot I_{\text{АмурМ.Ч.3}}^2 \cdot R_{\text{АмурМ.Ч.}} \cdot k_{\text{R300.3}} \cdot 10^{-6} = 1.267 \times 10^{-3} \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{\text{АмурМ.Ч.5}} := 3 \cdot I_{\text{АмурМ.Ч.5}}^2 \cdot R_{\text{АмурМ.Ч.}} \cdot k_{\text{R300.5}} \cdot 10^{-6} = 1.276 \times 10^{-3} \text{ МВт}$$

$$\Delta P_{\text{АмурМ.Ч.7}} := 3 \cdot I_{\text{АмурМ.Ч.7}}^2 \cdot R_{\text{АмурМ.Ч.}} \cdot k_{\text{R300.7}} \cdot 10^{-6} = 1.565 \times 10^{-3} \text{ МВт}$$

Приложение Е

Расчёт надёжности участка сети в программе Mathcad

Для трансформаторов 220 кВ:

$$\begin{aligned} \omega_{\tau} &:= 0.035 && 1/\text{год} && (\text{параметр потока отказов}) \\ t_{\text{в},\tau} &:= \frac{60}{8760} = 6.8 \times 10^{-3} && \text{год} && (\text{среднее время восстановления}) \\ \mu_{\text{пл},\tau} &:= 0.75 && 1/\text{год} && (\text{частота плановых и преднамеренных отключений}) \\ t_{\text{пр},\tau} &:= \frac{28}{8760} = 3.2 \times 10^{-3} && \text{год} && (\text{время плановых и преднамеренных отключений}) \end{aligned}$$

Для выключателей 220 кВ:

$$\begin{aligned} \omega_{\text{в}} &:= 0.004 && 1/\text{год} && (\text{параметр потока отказов}) \\ t_{\text{в},\text{в}} &:= \frac{55}{8760} = 6.3 \times 10^{-3} && \text{год} && (\text{среднее время восстановления}) \\ \mu_{\text{пл},\text{в}} &:= 0.2 && 1/\text{год} && (\text{частота плановых и преднамеренных отключений}) \\ t_{\text{пр},\text{в}110} &:= \frac{15}{8760} = 1.7 \times 10^{-3} && \text{год} && (\text{время плановых и преднамеренных отключений}) \end{aligned}$$

Для ВЛ 220 кВ:

$$\begin{aligned} \omega_{\text{л}} &:= 0.4 && 1/\text{год} && (\text{параметр потока отказов}) \\ t_{\text{в},\text{л}} &:= \frac{9}{8760} = 1.03 \times 10^{-3} && \text{год} && (\text{среднее время восстановления}) \\ \mu_{\text{пл},\text{л}} &:= 1.8 && 1/\text{год} && (\text{частота плановых и преднамеренных отключений}) \\ t_{\text{пр},\text{л}} &:= \frac{24}{8760} = 2.7 \times 10^{-3} && \text{год} && (\text{время плановых и преднамеренных отключений}) \end{aligned}$$

Для шин 220 кВ:

$$\begin{aligned} \omega_{\text{ш}} &:= 0.013 && 1/\text{год} && (\text{параметр потока отказов}) \\ t_{\text{в},\text{ш}} &:= \frac{5}{8760} = 5.7 \times 10^{-4} && \text{год} && (\text{среднее время восстановления}) \\ \mu_{\text{пл},\text{ш}} &:= 0.166 && 1/\text{год} && (\text{частота плановых и преднамеренных отключений}) \\ t_{\text{пр},\text{ш}} &:= \frac{3}{8760} = 3.42 \times 10^{-4} && \text{год} && (\text{время плановых и преднамеренных отключений}) \end{aligned}$$

Решение:

Для каждого эквивалентного элемента рассчитываются следующие показатели:

- Параметр потока отказов;
- Коэффициент вынужденного простоя;
- Коэффициент готовности;
- Время восстановления;

Предварительный расчёт (к-тов готовности для каждого элемента):

Время безотказной работы (для установившихся режимов):

$$\begin{aligned} t_{\text{рл}} &:= \frac{1}{\omega_{\tau}} = 28.6 \text{ лет} & t_{\text{рл}} &:= \frac{1}{\omega_{\text{л}}} = 2.5 \text{ лет} & K_{\text{гт}} &:= \frac{t_{\text{рл}}}{t_{\text{пр},\tau} + t_{\text{в},\tau}} = 1 & K_{\text{гп}} &:= \frac{t_{\text{рл}}}{t_{\text{пр},\tau} + t_{\text{в},\tau}} = 1 \\ t_{\text{рв}} &:= \frac{1}{\omega_{\text{в}}} = 250 \text{ лет} & t_{\text{рш}} &:= \frac{1}{\omega_{\text{ш}}} = 76.9 \text{ лет} & K_{\text{гв}} &:= \frac{t_{\text{рв}}}{t_{\text{пр},\text{в}} + t_{\text{в},\text{в}}} = 1 & K_{\text{гш}} &:= \frac{t_{\text{рш}}}{t_{\text{пр},\text{ш}} + t_{\text{в},\text{ш}}} = 1 \end{aligned}$$

Предварительный расчёт параметра потока отказов выключателей:

Для выключателей 220 кВ:

$$a_{оп} := 0.004 \quad K_{лпв} := 0.01$$

$$a_{взвт} := 0.006 \quad N_{оп} := 3$$

$$\omega := \omega_3 + a_{оп} \cdot N_{оп} + a_{взвт} \cdot [(1 + 0 \cdot K_{лпв}) \cdot \omega_T] = 0.016$$

I Эквивалент:

$$\omega_I := \omega_{ш} + 3\omega + 2\omega_L + \omega_T = 0.897 \quad K_{II} := \omega_{ш} \cdot t_{3,ш} + 3 \cdot \omega \cdot t_{3,3} + \omega_T \cdot t_{3,T} + 2\omega_L \cdot t_{3,L} = 1.374 \times 10^{-3}$$

$$K_{ГI} := K_{Гш} \cdot K_{Г3}^3 \cdot K_{ГT} \cdot K_{ГL}^2 = 0.999 \quad t_{3I} := \frac{K_{II}}{\omega_I} = 1.533 \times 10^{-3}$$

II Эквивалент:

$$\omega_{II} := 2\omega_{ш} + 2\omega + \omega_L + \omega_T = 0.493 \quad K_{III} := 2\omega_{ш} \cdot t_{3,ш} + 2 \cdot \omega \cdot t_{3,3} + \omega_T \cdot t_{3,T} + \omega_L \cdot t_{3,L} = 8.691 \times 10^{-4}$$

$$K_{ГII} := K_{Г3}^2 \cdot K_{ГL}^2 \cdot K_{ГT} \cdot K_{Гш} = 0.999 \quad t_{3II} := \frac{K_{III}}{\omega_{II}} = 1.533 \times 10^{-3}$$

III Эквивалент:

$$\omega_{III1} := \omega_T + \omega = 0.051 \quad K_{ГIII1} := \omega_T \cdot t_{3,T} + \omega \cdot t_{3,3} = 3.415 \times 10^{-4} \quad K_{ГIII1} := K_{ГT} \cdot K_{Г3} = 1$$

$$\omega_{III2} := \omega_T + \omega = 0.051 \quad K_{ГIII2} := \omega_T \cdot t_{3,T} + \omega \cdot t_{3,3} = 3.415 \times 10^{-4} \quad K_{ГIII2} := K_{ГT} \cdot K_{Г3} = 1$$

$$t_{3III1} := \frac{K_{ГIII1}}{\omega_{III1}} = 6.669 \times 10^{-3} \quad t_{3III2} := \frac{K_{ГIII2}}{\omega_{III2}} = 6.669 \times 10^{-3}$$

$$\omega_{III} := \omega_{III2} \cdot \omega_{III1} \cdot K_{ГIII2} + \omega_{III1} \cdot \omega_{III2} \cdot K_{ГIII1} = 1.791 \times 10^{-6}$$

$$K_{ГIII} := \omega_{III1} \cdot t_{3III1} \cdot \omega_{III2} \cdot t_{3III2} = 1.166 \times 10^{-7}$$

$$K_{ГIII} := 1 - K_{ГIII} = 1 \quad t_{3III} := \frac{K_{ГIII}}{\omega_{III}} = 0.065$$

IV Эквивалент:

$$\omega_{IV1} := \omega_{ш} + 2\omega + \omega_T = 0.08 \quad K_{ГIV1} := \omega_{ш} \cdot t_{3,ш} + \omega_T \cdot t_{3,T} + 2\omega \cdot t_{3,3} = 4.507 \times 10^{-4}$$

$$\omega_{IV2} := \omega_{ш} + 2\omega + \omega_T = 0.08 \quad K_{ГIV2} := \omega_{ш} \cdot t_{3,ш} + \omega_T \cdot t_{3,T} + 2\omega \cdot t_{3,3} = 4.507 \times 10^{-4}$$

$$K_{ГIV1} := K_{Гш} \cdot K_{ГT} \cdot K_{Г3}^2 = 1$$

$$t_{3IV1} := \frac{K_{ГIV1}}{\omega_{IV1}} = 5.604 \times 10^{-3} \quad t_{3IV2} := \frac{K_{ГIV2}}{\omega_{IV2}} = 5.604 \times 10^{-3}$$

$$K_{ГIV2} := K_{Гш} \cdot K_{ГT} \cdot K_{Г3}^2 = 1$$

$$\omega_{IV} := \omega_{IV2} \cdot \omega_{IV1} \cdot K_{ГIV2} + \omega_{IV1} \cdot \omega_{IV2} \cdot K_{ГIV1} = 5.83 \times 10^{-6}$$

$$K_{ГIV} := \omega_{IV1} \cdot t_{3IV1} \cdot \omega_{IV2} \cdot t_{3IV2} = 2.031 \times 10^{-7}$$

$$K_{ГIV} := 1 - K_{ГIV} = 1 \quad t_{3IV} := \frac{K_{ГIV}}{\omega_{IV}} = 0.035$$

V Эквивалент:

$$\omega_{V1.1} := \omega_{ш} = 0.013 \quad K_{ГV1.1} := \omega_{ш} \cdot t_{3,ш} = 7.42 \times 10^{-6} \quad K_{ГV1.1} := K_{Гш} = 1 \quad t_{3V1.1} := \frac{K_{ГV1.1}}{\omega_{V1.1}} = 5.708 \times 10^{-4}$$

$$\omega_{V2.1} := \omega = 0.016 \quad K_{ГV2.1} := \omega \cdot t_{3,3} = 1.018 \times 10^{-4} \quad K_{ГV2.1} := K_{Г3} = 1 \quad t_{3V2.1} := \frac{K_{ГV2.1}}{\omega_{V2.1}} = 6.279 \times 10^{-3}$$

$$\omega_{V1} := \omega_{V1.1} \cdot \omega_{V1.1} \cdot K_{ГV1.1} + \omega_{V1.1} \cdot \omega_{V1.1} \cdot K_{ГV1.1} = 2.301 \times 10^{-8}$$

$$K_{ГV.1} := \omega_{V1.1} \cdot t_{3V1.1} \cdot \omega_{V2.1} \cdot t_{3V2.1} = 7.552 \times 10^{-10}$$

$$K_{ГV.1} := 1 - K_{ГV.1} = 1 \quad \omega_{V1} := \omega_{V1} = 2.301 \times 10^{-8}$$

$$t_{\text{BV.1}} := \frac{K_{\text{ПV.1}}}{\omega_{\text{V.1}}} = 0.033 \quad \omega_{\text{V2}} := \omega_{\text{ш}} + 2\omega + \omega_{\text{T}} = 0.08$$

$$K_{\text{ПV1}} := \omega_{\text{V.1}} \cdot t_{\text{BV.1}} = 7.552 \times 10^{-10} \quad K_{\text{ГV1}} := K_{\text{ГV.1}} = 1 \quad K_{\text{ГV2}} := K_{\text{ГВ}}^2 \cdot K_{\text{Гш}} \cdot K_{\text{ГТ}} = 1$$

$$K_{\text{ПV2}} := \omega_{\text{ш}} \cdot t_{\text{Bш}} + 2\omega \cdot t_{\text{BБ}} + \omega_{\text{T}} \cdot t_{\text{BТ}} = 4.507 \times 10^{-4} \quad t_{\text{BV1}} := \frac{K_{\text{ПV1}}}{\omega_{\text{V1}}} = 0.033 \quad t_{\text{BV2}} := \frac{K_{\text{ПV2}}}{\omega_{\text{V2}}} = 5.604 \times 10^{-3}$$

$$\omega_{\text{V}} := \omega_{\text{V2}} \cdot \omega_{\text{V1}} \cdot K_{\text{ПV2}} + \omega_{\text{V1}} \cdot \omega_{\text{V2}} \cdot K_{\text{ПV1}} = 8.34 \times 10^{-13}$$

$$K_{\text{ПV}} := \left(\frac{K_{\text{ПV}}}{t_{\text{BV}}} = 0.408 \right) \cdot 3.404 \times 10^{-13}$$

$$K_{\text{ГV}} := 1 - K_{\text{ПV}} = 1$$

VI Эквивалент:

$$\omega_{\text{VII.1}} := \omega_{\text{ш}} = 0.013 \quad K_{\text{ПVII.1}} := \omega_{\text{ш}} \cdot t_{\text{Bш}} = 7.42 \times 10^{-6} \quad K_{\text{ГVII.1}} := K_{\text{Гш}} = 1 \quad t_{\text{BVII.1}} := \frac{K_{\text{ПVII.1}}}{\omega_{\text{VII.1}}} = 5.708 \times 10^{-4}$$

$$\omega_{\text{VII.2}} := \omega = 0.016 \quad K_{\text{ПVII.2}} := \omega \cdot t_{\text{BБ}} = 1.018 \times 10^{-4} \quad K_{\text{ГVII.2}} := K_{\text{ГБ}} = 1$$

$$\omega_{\text{VI1}} := \omega_{\text{VII.2}} \cdot \omega_{\text{VII.1}} \cdot K_{\text{ПVII.2}} + \omega_{\text{VII.1}} \cdot \omega_{\text{VII.2}} \cdot K_{\text{ПVII.1}} = 2.301 \times 10^{-8} \quad t_{\text{BVII.2}} := \frac{K_{\text{ПVII.2}}}{\omega_{\text{VII.2}}} = 6.279 \times 10^{-3}$$

$$K_{\text{ПVI1}} := \omega_{\text{VII.1}} \cdot t_{\text{BVII.1}} \cdot \omega_{\text{VII.2}} \cdot t_{\text{BVII.2}} = 7.552 \times 10^{-10} \quad \omega_{\text{VII}} := \omega_{\text{VI1}} = 2.301 \times 10^{-8}$$

$$K_{\text{ГVI1}} := 1 - K_{\text{ПVI1}} = 1 \quad t_{\text{BV11}} := \frac{K_{\text{ПVI1}}}{\omega_{\text{VI1}}} = 0.033 \quad \omega_{\text{VI2}} := \omega_{\text{ш}} + 2\omega + \omega_{\text{T}} = 0.08$$

$$K_{\text{ПVI2}} := \omega_{\text{VI1}} \cdot t_{\text{BV11}} = 7.552 \times 10^{-10} \quad K_{\text{ГVI2}} := K_{\text{ГVI1}} = 1$$

$$K_{\text{ПVI2}} := \omega_{\text{ш}} \cdot t_{\text{Bш}} + 2\omega \cdot t_{\text{BБ}} + \omega_{\text{T}} \cdot t_{\text{BТ}} = 4.507 \times 10^{-4} \quad K_{\text{ГVI2}} := K_{\text{ГБ}}^2 \cdot K_{\text{Гш}} \cdot K_{\text{ГТ}} = 1$$

$$t_{\text{BVII}} := \frac{K_{\text{ПVII}}}{\omega_{\text{VII}}} = 0.033 \quad \omega_{\text{VI}} := \omega_{\text{VI2}} \cdot \omega_{\text{VI1}} \cdot K_{\text{ПVI2}} + \omega_{\text{VI1}} \cdot \omega_{\text{VI2}} \cdot K_{\text{ПVI1}} = 8.34 \times 10^{-13}$$

$$t_{\text{BVII2}} := \frac{K_{\text{ПVII2}}}{\omega_{\text{VII2}}} = 5.604 \times 10^{-3} \quad K_{\text{ПVI}} := \omega_{\text{VI1}} \cdot t_{\text{BVII}} \cdot \omega_{\text{VI2}} \cdot t_{\text{BVII2}} = 3.404 \times 10^{-13}$$

$$K_{\text{ГVI}} := 1 - K_{\text{ПVI}} = 1 \quad t_{\text{BV1}} := \frac{K_{\text{ПVI}}}{\omega_{\text{VI}}} = 0.408$$

VII Эквивалент:

$$\omega_{\text{VII}} := \omega_{\text{ш}} + 3\omega + 2\omega_{\text{л}} + \omega_{\text{T}} = 0.897 \quad K_{\text{ПVII}} := \omega_{\text{ш}} \cdot t_{\text{Bш}} + 3 \cdot \omega \cdot t_{\text{BБ}} + \omega_{\text{T}} \cdot t_{\text{BТ}} + 2\omega_{\text{л}} \cdot t_{\text{Bл}} = 1.374 \times 10^{-3}$$

$$K_{\text{ГVII}} := K_{\text{Гш}} \cdot K_{\text{ГБ}}^3 \cdot K_{\text{ГТ}} \cdot K_{\text{Гл}}^2 = 0.999 \quad t_{\text{BVII}} := \frac{K_{\text{ПVII}}}{\omega_{\text{VII}}} = 1.533 \times 10^{-3}$$

VIII Эквивалент:

$$\omega_{\text{VIII}} := 3\omega_{\text{ш}} + 3\omega + 2\omega_{\text{л}} + \omega_{\text{T}} = 0.923 \quad K_{\text{ПVIII}} := 3\omega_{\text{ш}} \cdot t_{\text{Bш}} + 3 \cdot \omega \cdot t_{\text{BБ}} + \omega_{\text{T}} \cdot t_{\text{BТ}} + 2\omega_{\text{л}} \cdot t_{\text{Bл}} = 1.389 \times 10^{-3}$$

$$K_{\text{ГVIII}} := K_{\text{Гш}}^3 \cdot K_{\text{ГБ}}^3 \cdot K_{\text{ГТ}} \cdot K_{\text{Гл}}^2 = 0.999 \quad t_{\text{BVIII}} := \frac{K_{\text{ПVIII}}}{\omega_{\text{VIII}}} = 1.506 \times 10^{-3}$$

IX Эквивалент:

$$\omega_{IX} := \omega_{III} = 1.791 \times 10^{-6} \quad K_{ГIX} := K_{ГIII} = 1$$

$$K_{ГIX} := K_{ГIII} = 1.166 \times 10^{-7} \quad t_{aIX} := t_{aIII} = 0.065$$

XI Эквивалент:

$$\omega_{XI} := \omega_V = 8.34 \times 10^{-13} \quad K_{ГXI} := K_{ГV} = 1$$

$$K_{ГXI} := K_{ГV} = 3.404 \times 10^{-13} \quad t_{aXI} := t_{aV} = 0.408$$

XIII Эквивалент:

$$\omega_{XIII1} := \omega_{III} + \omega + \omega_T = 0.064 \quad K_{ГXIII1} := \omega_{III} \cdot t_{aIII} + \omega_T \cdot t_{aT} + \omega \cdot t_{aB} = 3.489 \times 10^{-4}$$

$$\omega_{XIII2} := \omega_{III} + \omega + \omega_T = 0.064 \quad K_{ГXIII2} := \omega_{III} \cdot t_{aIII} + \omega_T \cdot t_{aT} + \omega \cdot t_{aB} = 3.489 \times 10^{-4}$$

$$K_{ГXIII1} := K_{ГIII} \cdot K_{ГT} \cdot K_{ГB} = 1 \quad t_{aXIII1} := \frac{K_{ГXIII1}}{\omega_{XIII1}} = 5.434 \times 10^{-3} \quad t_{aXIII2} := \frac{K_{ГXIII2}}{\omega_{XIII2}} = 5.434 \times 10^{-3}$$

$$K_{ГXIII2} := K_{ГIII} \cdot K_{ГT} \cdot K_{ГB} = 1$$

$$\omega_{XIII} := \omega_{XIII2} \cdot \omega_{XIII1} \cdot K_{ГXIII2} + \omega_{XIII1} \cdot \omega_{XIII2} \cdot K_{ГXIII1} = 4.123 \times 10^{-3}$$

$$K_{ГXIII} := \omega_{XIII1} \cdot t_{aXIII1} \cdot \omega_{XIII2} \cdot t_{aXIII2} = 1.217 \times 10^{-7} \quad K_{ГXIII} := 1 - K_{ГXIII} = 1 \quad t_{aXIII} := \frac{K_{ГXIII}}{\omega_{XIII}} = 2.953 \times 10^{-5}$$

XIV Эквивалент:

$$\omega_{XIV} := \omega_{IV} = 5.83 \times 10^{-6} \quad K_{ГXIV} := K_{ГIV} = 1$$

$$K_{ГXIV} := K_{ГIV} = 2.031 \times 10^{-7} \quad t_{aXIV} := t_{aIV} = 0.035$$

XV Эквивалент:

$$\omega_{XV} := \omega_V = 8.34 \times 10^{-13} \quad K_{ГXV} := K_{ГV} = 1$$

$$K_{ГXV} := K_{ГV} = 3.404 \times 10^{-13} \quad t_{aXV} := t_{aV} = 0.408$$

XVI Эквивалент:

$$\omega_{XVI} := \omega_V = 8.34 \times 10^{-13} \quad K_{ГXVI} := K_{ГV} = 1$$

$$K_{ГXVI} := K_{ГV} = 3.404 \times 10^{-13}$$

$$t_{aXVI} := t_{aV} = 0.408$$

XVII Эквивалент:

$$\omega_{XVII} := \omega_{XIII} = 4.123 \times 10^{-3} \quad K_{ГXVII} := K_{ГXIII} = 1.217 \times 10^{-7}$$

$$K_{ГXVII} := K_{ГXIII} = 1$$

$$t_{aXVII} := t_{aXIII} = 2.953 \times 10^{-5}$$

XVIII Эквивалент:

$$\omega_{XVIII} := \omega_{IV} = 5.83 \times 10^{-6} \quad K_{ГXVIII} := K_{ГIV} = 1$$

$$K_{ГXVIII} := K_{ГIV} = 2.031 \times 10^{-7}$$

$$t_{aXVIII} := t_{aIV} = 0.035$$

XIX Эквивалент:

$$\omega_{XIX} := \omega_V = 8.34 \times 10^{-13} \quad K_{ГXIX} := K_{ГV} = 1$$

$$K_{ГXIX} := K_{ГV} = 3.404 \times 10^{-13}$$

$$t_{aXIX} := t_{aV} = 0.408$$

XX Эквивалент:

$$\omega_{XX} := \omega_V = 8.34 \times 10^{-13} \quad K_{ГXX} := K_{ГV} = 1$$

$$K_{ГXX} := K_{ГV} = 3.404 \times 10^{-13}$$

$$t_{aXX} := t_{aV} = 0.408$$

XXI Эквивалент:

$$\omega_{XXI} := \omega_{II} + \omega_{III} + \omega_{IV} = 0.893 \quad K_{ГXXI} := \omega_{II} \cdot t_{aII} + \omega_{III} \cdot t_{aIII} + \omega_{IV} \cdot t_{aIV} = 1.167 \times 10^{-3}$$

$$K_{ГXXI} := K_{ГII} \cdot K_{ГIII} \cdot K_{ГIV} = 0.999$$

$$t_{aXXI} := \frac{K_{ГXXI}}{\omega_{XXI}} = 1.307 \times 10^{-3}$$

XXII Эквивалент:

$$\omega_{XXII} := \omega_{IV} + \omega_V + \omega_{VI} = 5.83 \times 10^{-6}$$

$$K_{ГXXII} := K_{ГIV} \cdot K_{ГV} \cdot K_{ГVI} = 1$$

$$\begin{aligned}
 K_{\Gamma XXII} &:= \omega_{IV} \cdot t_{aIV} + \omega_V \cdot t_{aV} + \omega_{VI} \cdot t_{aVI} = 2.031 \times 10^{-7} & t_{aXXII} &:= \frac{K_{\Gamma XXII}}{\omega_{XXII}} = 0.035 \\
 \text{XXIII Эквивалент:} & & K_{\Gamma XXIII} &:= K_{\Gamma VIII} \cdot K_{\Gamma IX} \cdot K_{\Gamma II} = 0.998 \\
 \omega_{XXIII} &:= \omega_{VIII} + \omega_{IX} + \omega_{II} = 1.323 \\
 K_{\Gamma XXIII} &:= \omega_{VIII} \cdot t_{aVIII} + \omega_{IX} \cdot t_{aIX} + \omega_{II} \cdot t_{aII} = 1.8 \times 10^{-3} & t_{aXXIII} &:= \frac{K_{\Gamma XXIII}}{\omega_{XXIII}} = 1.361 \times 10^{-3} \\
 \text{XXIV Эквивалент:} & & K_{\Gamma XXIV} &:= K_{\Gamma X} \cdot K_{\Gamma XI} \cdot K_{\Gamma XII} = 1 \\
 \omega_{XXIV} &:= \omega_X + \omega_{XI} + \omega_{XII} = 5.83 \times 10^{-6} \\
 K_{\Gamma XXIV} &:= \omega_X \cdot t_{aX} + \omega_{XI} \cdot t_{aXI} + \omega_{XII} \cdot t_{aXII} = 2.031 \times 10^{-7} & t_{aXXIV} &:= \frac{K_{\Gamma XXIV}}{\omega_{XXIV}} = 0.035 \\
 \text{XXV Эквивалент:} & & & \\
 \omega_{XXV} &:= \omega_{XIII} + \omega_{XIV} + \omega_{XV} + \omega_{XVI} = 4.129 \times 10^{-3} \\
 K_{\Gamma XXV} &:= \omega_{XIII} \cdot t_{aXIII} + \omega_{XIV} \cdot t_{aXIV} + \omega_{XV} \cdot t_{aXV} + \omega_{XVI} \cdot t_{aXVI} = 3.249 \times 10^{-7} \\
 K_{\Gamma XXV} &:= K_{\Gamma XIII} \cdot K_{\Gamma XIV} \cdot K_{\Gamma XV} \cdot K_{\Gamma XVI} = 1 \\
 t_{aXXV} &:= \frac{K_{\Gamma XXV}}{\omega_{XXV}} = 242.185 \\
 \text{XXVI Эквивалент:} & & & \\
 \omega_{XXVI} &:= \omega_{XVII} + \omega_{XVIII} + \omega_{XIX} + \omega_{XX} = 4.129 \times 10^{-3} \\
 K_{\Gamma XXVI} &:= \omega_{XVII} \cdot t_{aXVII} + \omega_{XVIII} \cdot t_{aXVIII} + \omega_{XIX} \cdot t_{aXIX} + \omega_{XX} \cdot t_{aXX} = 3.249 \times 10^{-7} \\
 K_{\Gamma XXVI} &:= K_{\Gamma XVII} \cdot K_{\Gamma XVIII} \cdot K_{\Gamma XIX} \cdot K_{\Gamma XX} = 1 & t_{aXXVI} &:= \frac{K_{\Gamma XXVI}}{\omega_{XXVI}} = 242.185 \\
 \text{XXVII Эквивалент:} & & & \\
 \omega_{XXVII 1} &:= \omega_I = 0.897 & K_{\Gamma XXVII 1} &:= \omega_I \cdot t_{aI} = 1.374 \times 10^{-3} & K_{\Gamma XXVII 1} &:= K_{\Gamma I} = 0.999 \\
 \omega_{XXVII 2} &:= \omega_{XXI} = 0.893 & K_{\Gamma XXVII 2} &:= \omega_{XXI} \cdot t_{aXXI} = 1.167 \times 10^{-3} & K_{\Gamma XXVII 2} &:= K_{\Gamma XXI} = 0.999 \\
 t_{aXXVII 1} &:= \frac{K_{\Gamma XXVII 1}}{\omega_{XXVII 1}} = 1.114 & t_{aXXVII 2} &:= \frac{K_{\Gamma XXVII 2}}{\omega_{XXVII 2}} = 1.118 \\
 \omega_{XXVII} &:= \omega_{XXVII 2} \cdot \omega_{XXVII 1} \cdot K_{\Gamma XXVII 2} \dots = 2.036 \times 10^{-3} \\
 & & & & & + \omega_{XXVII 1} \cdot \omega_{XXVII 2} \cdot K_{\Gamma XXVII 1} \\
 K_{\Gamma XXVII} &:= \omega_{XXVII 1} \cdot t_{aXXVII 1} \cdot \omega_{XXVII 2} \cdot t_{aXXVII 2} = 0.998 \\
 K_{\Gamma XXVII} &:= 1 - K_{\Gamma XXVII} = 2.304 \times 10^{-7} & t_{aXXVII} &:= \frac{K_{\Gamma XXVII}}{\omega_{XXVII}} = 489.99 \\
 \text{XXVIII Эквивалент:} & & & \\
 \omega_{XXVIII 1} &:= \omega_{VII} = 0.897 & K_{\Gamma XXVIII 1} &:= \omega_{VII} \cdot t_{aVII} = 1.374 \times 10^{-3} & K_{\Gamma XXVIII 1} &:= K_{\Gamma VII} = 0.999 \\
 \omega_{XXVIII 2} &:= \omega_{XXIII} = 1.323 & K_{\Gamma XXVIII 2} &:= \omega_{XXIII} \cdot t_{aXXIII} = 1.8 \times 10^{-3} & K_{\Gamma XXVIII 2} &:= K_{\Gamma XXIII} = 0.998 \\
 t_{aXXVIII 1} &:= \frac{K_{\Gamma XXVIII 1}}{\omega_{XXVIII 1}} = 1.114 & t_{aXXVIII 2} &:= \frac{K_{\Gamma XXVIII 2}}{\omega_{XXVIII 2}} = 0.755
 \end{aligned}$$

$$\omega_{XXVIII} := \omega_{XXVIII 2} \cdot \omega_{XXVIII 1} \cdot 10^3 \dots = 2.372 \times 10^3$$

$$+ \omega_{XXVIII 1} \cdot \omega_{XXVIII 2} \cdot 10^3$$

$$K_{ПXXVIII} := \omega_{XXVIII 1} \cdot t_{аXXVIII 1} \cdot \omega_{XXVIII 2} \cdot t_{аXXVIII 2} = 0.997 \quad K_{ГXXVIII} := 1 - K_{ПXXVIII} = 2.711 \times 10^{-3}$$

$$t_{аXXVIII} := \frac{K_{ПXXVIII}}{\omega_{XXVIII}} = 4.205 \times 10^{-4}$$

XXIX Эквивалент:

$$\omega_{XXIX 1} := \omega_{XXV} = 4.129 \times 10^{-3} \quad K_{ПXXIX 1} := \omega_{XXV} \cdot t_{аXXV} = 1 \quad K_{ГXXIX 1} := K_{ГXXV} = 1$$

$$\omega_{XXIX 2} := \omega_{XXVI} = 4.129 \times 10^{-3} \quad K_{ПXXIX 2} := \omega_{XXVI} \cdot t_{аXXVI} = 1 \quad K_{ГXXIX 2} := K_{ГXXVI} = 1$$

$$t_{аXXIX 1} := \frac{K_{ГXXIX 1}}{\omega_{XXIX 1}} = 242.185 \quad t_{аXXIX 2} := \frac{K_{ГXXIX 2}}{\omega_{XXIX 2}} = 242.185$$

$$\omega_{XXIX} := \omega_{XXIX 2} \cdot \omega_{XXIX 1} \dots = 3.41 \times 10^{-5} \quad K_{ПXXIX} := \omega_{XXIX 1} \cdot t_{аXXIX 1} \cdot \omega_{XXIX 2} \cdot t_{аXXIX 2} = 1$$

$$+ \omega_{XXIX 1} \cdot \omega_{XXIX 2}$$

$$K_{ГXXIX} := 1 - K_{ПXXIX} = 7.664 \times 10^{-7} \quad t_{аXXIX} := \frac{K_{ПXXIX}}{\omega_{XXIX}} = 2.933 \times 10^4$$

XXX Эквивалент:

$$\omega_{XXX} := \omega_{XXXI} + \omega_{XXXII} = 2.042 \times 10^{-3} \quad K_{ПXXX} := \omega_{XXXI} \cdot t_{аXXXI} + \omega_{XXXII} \cdot t_{аXXXII} = 0.998$$

$$\omega_{XXX} := \omega_{XXXI} + \omega_{XXXII} = 2.372 \times 10^3 \quad K_{ПXXX} := \omega_{XXXI} \cdot t_{аXXXI} + \omega_{XXXII} \cdot t_{аXXXII} = 0.997$$

$$K_{ГXXX} := K_{ГXXXI} \cdot K_{ГXXXII} = 2.304 \times 10^{-3}$$

$$t_{аXXXI} := \frac{K_{ГXXXI}}{\omega_{XXXI}} = 1.128 \quad t_{аXXXII} := \frac{K_{ГXXXII}}{\omega_{XXXII}} = 4.205 \times 10^{-4}$$

$$K_{ГXXX} := K_{ГXXXI} \cdot K_{ГXXXII} = 2.711 \times 10^{-3}$$

$$\omega_{XXX} := \omega_{XXXI} \cdot \omega_{XXXII} \cdot K_{ПXXX} + \omega_{XXXI} \cdot \omega_{XXXII} \cdot K_{ПXXXI} = 9.662$$

$$K_{ПXXX} := \omega_{XXXI} \cdot t_{аXXXI} \cdot \omega_{XXXII} \cdot t_{аXXXII} = 2.297 \times 10^{-3}$$

$$K_{ГXXX} := 1 - K_{ПXXX} = 0.998 \quad t_{аXXX} := \frac{K_{ПXXX}}{\omega_{XXX}} = 2.378 \times 10^{-4}$$

Общий Эквивалент:

$$\omega_{01} := \omega_{XXX} = 9.662 \quad K_{П01} := \omega_{XXX} \cdot t_{аXXX} = 2.297 \times 10^{-3} \quad K_{Г01} := K_{ГXXX} = 0.998$$

$$\omega_{02} := \omega_{XXIX} = 3.41 \times 10^{-5} \quad K_{П02} := \omega_{XXIX} \cdot t_{аXXIX} = 1 \quad K_{Г02} := K_{ГXXIX} = 7.664 \times 10^{-7}$$

$$t_{а01} := \frac{K_{П01}}{\omega_{01}} = 2.378 \times 10^{-4} \quad t_{а02} := \frac{K_{П02}}{\omega_{02}} = 2.933 \times 10^4$$

$$\omega_0 := \omega_{02} \cdot \omega_{01} \cdot K_{П02} + \omega_{01} \cdot \omega_{02} \cdot K_{П01} = 3.302 \times 10^{-4}$$

$$K_{П} := \omega_{01} \cdot t_{а01} \cdot \omega_{02} \cdot t_{а02} = 2.297 \times 10^{-3}$$

$$K_{Г} := 1 - K_{П} = 0.998$$

$$t_{а} := \frac{K_{П}}{\omega_0} = 6.957 \quad q_c := K_{П} = 2.297 \times 10^{-3}$$

Определение вероятности отказа всей сети с учётом АВР:

$$q_{\text{АВР}} := 0.82 \quad q_{\text{ДЗТ}} := 0.24$$

$$Q_{\text{САВР}} := q_c \cdot (1 - q_{\text{АВР}}) \cdot (1 - q_{\text{ДЗТ}}) + 0.5 \cdot q_c \cdot (1 - q_{\text{АВР}}) \cdot q_{\text{ДЗТ}} \dots = 1.532 \times 10^{-3} \\ + 0.5 \cdot q_c \cdot (1 - q_{\text{ДЗТ}}) \cdot q_{\text{АВР}} + q_c \cdot q_{\text{АВР}} \cdot q_{\text{ДЗТ}}$$

Время восстановления

$$t_{\text{вс}} := \frac{Q_{\text{САВР}}}{\omega_0} \cdot 8760 = 4.1 \times 10^4 \text{ час}$$

Время безотказной работы

$$T_c := \frac{1}{\omega_0} = 3 \times 10^3 \text{ час} \quad \omega_0 = 3.302 \times 10^{-4} \quad a := 0.1 \quad T_p := -\ln(1 - a) \cdot T_c = 319.1 \text{ час}$$

Расчёт ущерба от перерыва электроснабжения

Расчёт дефицитной мощности

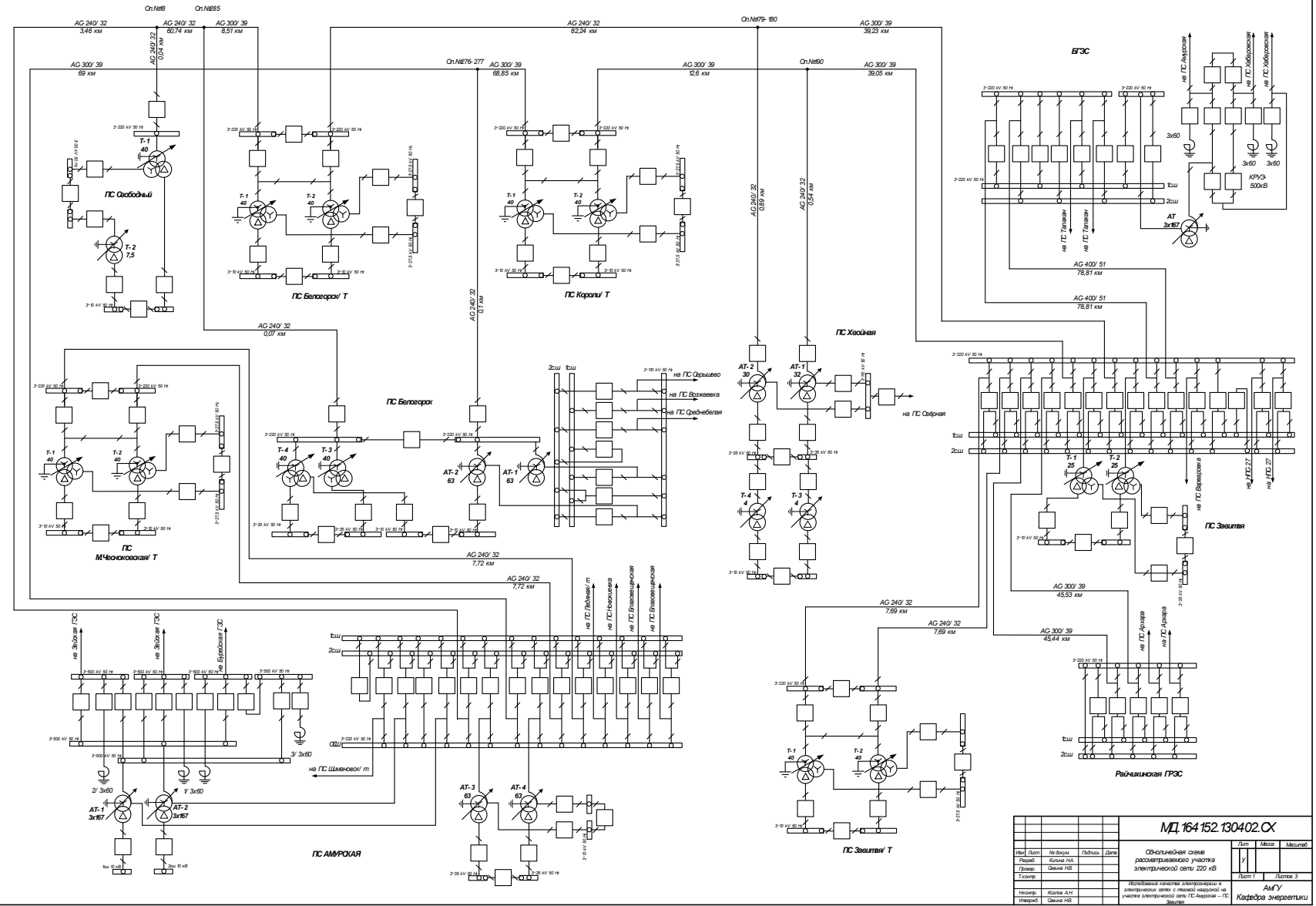
$$P_{\text{деф}} := 300 K_{\text{П}} \cdot 8760 = 6.04 \times 10^6 \text{ МВт}$$

Основной ущерб

$$Y_o := 0.15 \quad Y_{\text{овн}} := 0.7$$

$$Y := Y_o \cdot P_{\text{деф}} \cdot t_{\text{вс}} \cdot 10^{-3} + \left(Y_o + \frac{Y_{\text{овн}}}{t_{\text{вс}}} \right) \cdot P_{\text{деф}} \cdot t_{\text{вс}} \cdot 62.2 \cdot 10^{-3} = 2.326 \times 10^6$$

Вывод: При отказе всего рассматриваемого участка сети ущерб от перерыва электроснабжения составит 2.326×10^6 рублей.



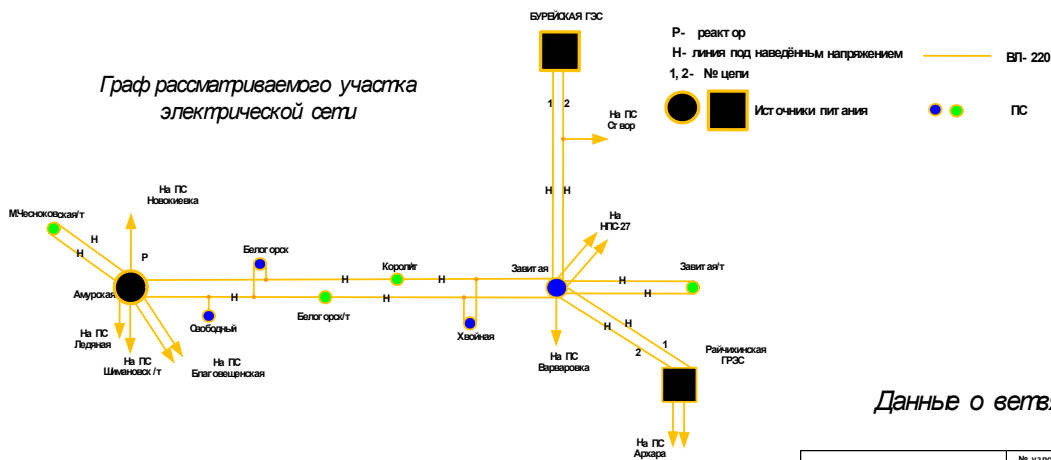
МД.164.152.130402.0Х				Лист	Масштаб	Масштаб
Исполн.	И.И.И.	Провер.	К.К.К.	Лист 1	Лист 3	
Инженер	А.А.А.	Инженер	С.С.С.	Использование чертежа в электронном виде с целью нарушения не допускается.		
Инженер	С.С.С.	Инженер	С.С.С.	Использование чертежа в электронном виде с целью нарушения не допускается.		

АМУ
Кафедра энергетики

Данные об узлах

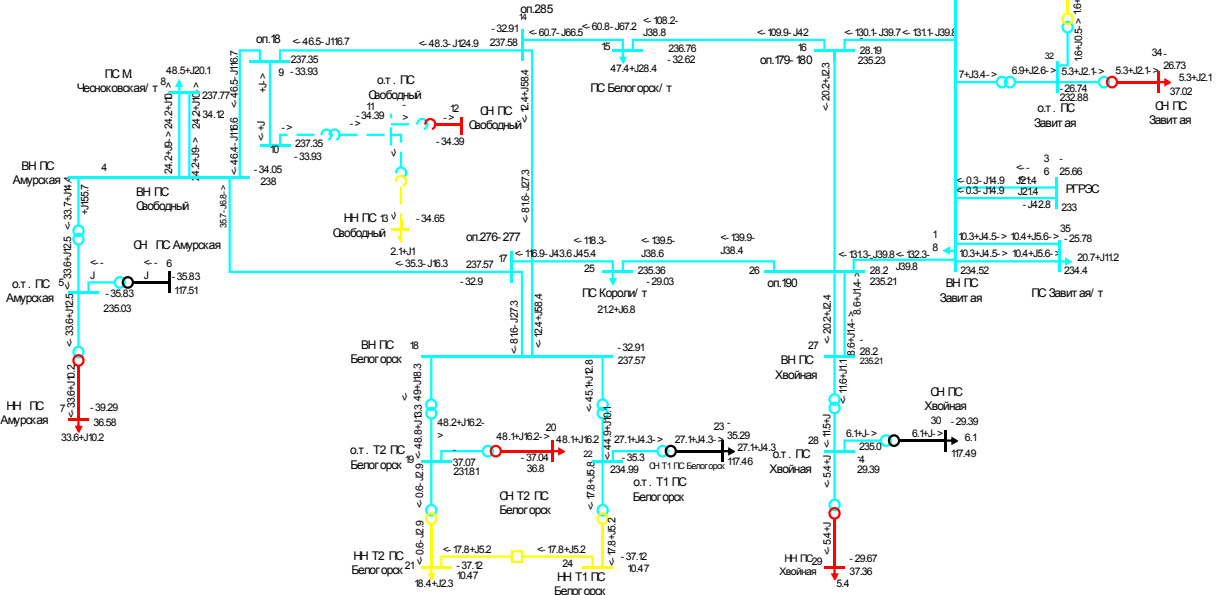
Наименование	Номинальное напряжение		Расчетное напряжение	dU
	U кВ	в узле, U кВ		
ВН ПС Амурская	220	236	8,18	
о.т. ПС Амурская	220	235,03	6,83	
ОН ПС Амурская	110	117,51	6,83	
НН ПС Амурская	35	36,58	4,51	
ПС М. Ченоковская/ т	220	237,77	8,08	
оп. 18	220	237,35	7,88	
ВН ПС Обоярский	220	237,35	7,88	
о.т. ПС Обоярский	220	237,35	7,88	
ОН ПС Обоярский	35			
НН ПС Обоярский	10			
оп.285	220	237,58	7,99	
ПС Белогорок/ т	220	236,76	7,62	
оп.179-180	220	235,23	6,92	
оп.276-277	220	237,57	7,99	
ВН ПС Белогорок	220	237,57	7,99	
о.т. Т2 ПС Белогорок	220	231,81	5,37	
ОН Т2 ПС Белогорок	35	36,8	5,14	
НН Т2 ПС Белогорок	10	10,47	4,66	
о.т. Т1 ПС Белогорок	220	234,99	6,82	
ОН Т1 ПС Белогорок	110	117,46	6,78	
НН Т1 ПС Белогорок	10	10,47	4,66	
ПС Короли/ т	220	235,36	6,98	
оп.190	220	235,21	6,91	
ВН ПС Хвойная	220	235,21	6,92	
о.т. ПС Хвойная	220	235,04	6,84	
НН ПС Хвойная	35	37,36	6,75	
ОН ПС Хвойная	110	117,49	6,81	
ВН ПС Завитая	220	234,52	6,6	
о.т. ПС Завитая	220	232,86	5,86	
НН ПС Завитая	10	10,47	4,72	
ОН ПС Завитая	35	37,02	5,77	
ПС Завитая/ т	220	234,4	6,55	
РПРС	220	233	5,91	
БГЭС	220	236	7,27	

Граф рассматриваемого участка электрической сети



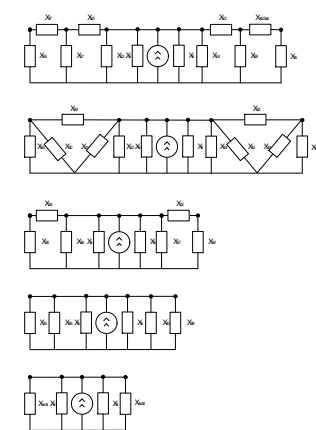
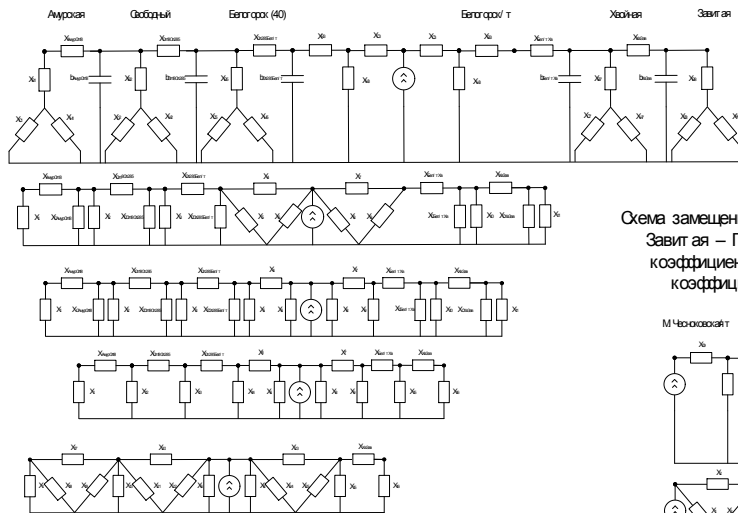
Данные о ветвях

Наименование ветви	№ узлов		Ток в линии	
	Мин	Мак	И	Косφ
ВН ПС Амурская - ПС М. Ченоковская/ т	4	8	63	64
ВН ПС Амурская - ПС М. Ченоковская/ т	4	8	63	64
ВН ПС Амурская - оп. 18	4	9	305	306
ВН ПС Амурская - оп.276-277	4	17	8,8	94
оп.18 - оп.285	4	5	8,9	8,8
оп.285 - ПС Белогорок/ т	5	6	0	0
ПС Белогорок/ т - оп.179-180	5	7	8,8	654
оп.179-180 - ВН ПС Завитая	9	14	306	325
оп.276-277 - ПС Короли/ т	9	10	0	0
ПС Короли/ т - оп.190	10	11		
оп.190 - ВН ПС Завитая	11	12		
оп.18 - ВН ПС Обоярский	11	13		
оп.285 - ВН ПС Белогорок	14	15	216	221
оп.276-277 - ВН ПС Белогорок	14	18	145	145
оп.179-180 - ВН ПС Хвойная	15	16	280	289
оп.190 - ВН ПС Хвойная	16	31	334	337
ВН ПС Завитая - ПС Завитая/ т	16	27	50	50
ВН ПС Завитая - ПС Завитая/ т	17	25	303	311
ВН ПС Завитая - РПРС	17	18	209	209
ВН ПС Завитая - РПРС	18	22	114	113
ВН ПС Завитая - БГЭС	18	19	127	126
ВН ПС Завитая - БГЭС	19	20	127	787
ВН ПС Амурская - о.т. ПС Амурская	19	21	7	161
ВН ПС Белогорок - о.т. Т1 ПС Белогорок	21	24	1023	1023
о.т. ПС Амурская - ОН ПС Амурская	22	23	67	135
о.т. Т1 ПС Белогорок - ОН Т1 ПС Белогорок	22	24	4,6	1023
о.т. ПС Амурская - НН ПС Амурская	25	26	355	356
о.т. Т1 ПС Белогорок - НН Т1 ПС Белогорок	26	31	337	340
ВН ПС Белогорок - о.т. Т2 ПС Белогорок	26	27	21	21
о.т. Т2 ПС Белогорок - ОН Т2 ПС Белогорок	27	28	29	28
о.т. Т2 ПС Белогорок - НН Т2 ПС Белогорок	28	30	15	30
НН Т2 ПС Белогорок - НН Т1 ПС Белогорок	28	29	13	8,3
ВН ПС Хвойная - о.т. ПС Хвойная	31	35	28	29
о.т. ПС Хвойная - ОН ПС Хвойная	31	35	28	29



				ИД.164.152.130402.0X		
Исполн:	Исполн:	Исполн:	Исполн:	Решение максимально уточнившегося режима	Лист	Масштаб
Рисов:	Калибр:	Дата:	Дата:		2	3
Провер:	Калибр:	Дата:	Дата:	Итого: 3		
Исполн:	Калибр:	Дата:	Дата:	Итого: 3		
Провер:	Калибр:	Дата:	Дата:	Итого: 3		

Схема замещения 1 линии ПС Амурская – ПС Завитая и её преобразование для расчёт а гармонических сост авляющих напряжений и коэффициент а несиммет рии напряжений по обрат ной последоват ельност и



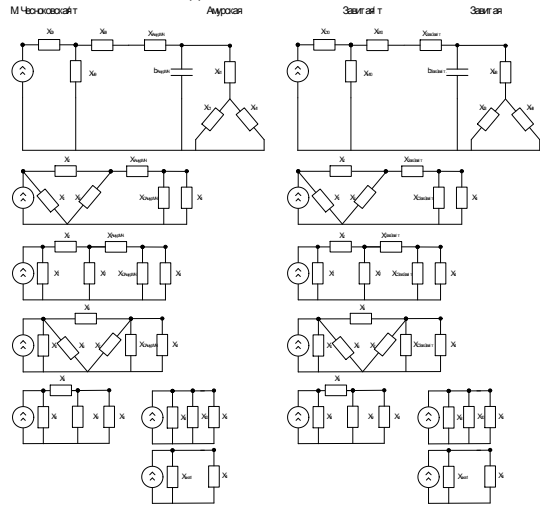
Значения суммарных коэффициент ов гармонических сост авляющих напряжения K_{U1} , %

ПС Свободный	0,2
ПС Белог орск (Т1,Т2)	1,3
ПС Белог орск (Т3,Т4)	1,9
ПС Хвойная	0,2
ПС Амурская	3,6
ПС Завит ая	3,8

Значения суммарных коэффициент ов гармонических сост авляющих напряжения K_{U1} , %

Название ПС	Без фильт ров	С фильт рами
	3,8	1,9
ПС Амурская	3,6	1,9
ПС Завит ая		

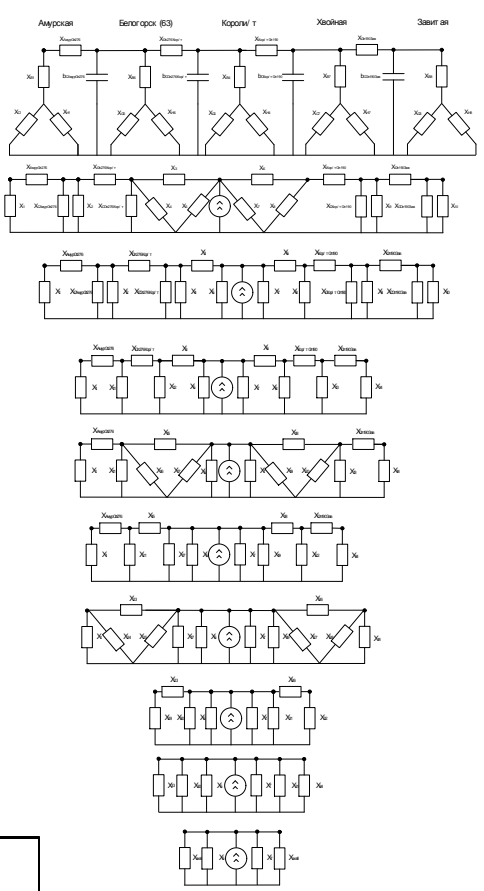
Схема замещения линий ПС Амурская – ПС Мчесоковская/ Т и ПС Завит ая – ПС Завит ая/ т и её преобразование для расчёт а гармонических сост авляющих напряжений и коэффициент а несиммет рии напряжений по обрат ной последоват ельност и



Значения суммарног о коэффициент а несиммет рии напряжения K_{2U} , %

ПС Амурская	1,4
ПС Завит ая	1,8

Схема замещения 2 линии ПС Амурская – ПС Завит ая и её преобразование для расчёт а коэффициент а гармонических сост авляющих напряжений и коэффициент а несиммет рии напряжений по обрат ной последоват ельност и



				ИД 164152.130402.0Х		
Исполн	Исполн	Исполн	Исполн	Расчёт показателей качества электроэнергии	Лист	Масштаб
Провер	Провер	Провер	Провер		3	3
Инженер	Инженер	Инженер	Инженер	Исполн: АИУ Кафедра энергетики		