

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Режимы работы электрических источников питания, подстанций, сетей и систем
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка систем гарантированного питания для «Жигулевской ГЭС»

Студент

А.Н. Осадчий
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., профессор А.А. Романов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Содержание

Введение.....	3
1 Анализ используемых в стране систем гарантированного питания.....	5
1.1 Система гарантированного электроснабжения.....	5
1.2 Разработка основных технических решений системы гарантированного питания.....	22
1.3 Разработка предложений по размещению конечных технических систем на объекте.....	30
1.4 Перечень условных сокращений.....	31
1.5 Выводы по разделу.....	32
2 Расчет токов короткого замыкания.....	33
2.1 Расчет токов короткого замыкания в ЗРУ – 10 кВ.....	33
2.2 Расчет токов короткого замыкания в РУ – 0,4 кВ.....	44
2.3 Выбор схемы щита постоянного тока.....	49
2.4 Расчет токов короткого замыкания щита постоянного тока ППУ – 500.....	51
2.5 Выводы по разделу.....	76
3 Проверка эффективности работ защиты.....	77
3.1 Проверка емкости СОПТ ППУ-500.....	90
3.2 Выводы по разделу.....	96
Заключение.....	97
Список используемых источников.....	99

Введение

«Энергетика России – энергетический комплекс Российской Федерации, являющийся сложной структурой, объединяющей различные виды подотраслей.

Традиционной, исторически самой значимой отраслью является топливная энергетика. В 20-30-х годах XX века новый толчок энергетическому развитию СССР дало масштабное строительство районных тепловых и гидроэлектростанций в рамках ГОЭРЛО. В пятидесятые годы прогресс в энергетической области был связан с научными разработками в области атома и строительством атомных электростанций. В последующие годы происходило освоение гидропотенциала Сибири и ископаемых ресурсов Западной Сибири.

Страна обладает существенными запасами энергетических ископаемых и потенциалом возобновляемых источников, входит в десятку наиболее обеспеченных энергоресурсами государств. Однако доля возобновляемых источников в энергетике в процентном соотношении невелика, в отличие от энергетического комплекса Европы, где политика Евросоюза направлена на постепенный рост использования возобновляемых источников энергии и замещение ими традиционными» [1].

Энергетика играет огромную роль в жизни страны, особенно в экономике, транспорте, в сельском хозяйстве и в быту, в том числе промышленность – 36 %, ТЭК – 18%, быт – 15 %, потери в сетях – 11,5 %.

Жигулевская ГЭС находится в г. Жигулевск Самарской области.

На ГЭС работают 20 гидроагрегатов мощностью по 115 МВт - 120МВт, и 125,5 МВт. Суммарная электрическая мощность ГЭС равна 2383МВт.

Выдача электрической мощности производится на напряжения 110, 220 и 500 кВ. От ОРУ-500 кВ по четырем ВЛ-500 кВ, от ОРУ-220 кВ по шести ВЛ-229 кВ и от ОРУ-110 кВ по восьми ВЛ-110 кВ. Электроснабжение СН ОРУ-500кВ осуществляется от 2 силовых трансформаторов типа RESIBLOC,

каждый мощностью 630кВА [7]. Силовые трансформаторы изготовлены с пониженными потерями холостого хода, сухого типа.

На Жигулевской ГЭС используется 3 системы гарантированного питания:

- для электроснабжения потребителей собственных нужд здания ГЭС и электроснабжения потребителей водосливной плотины;
- малой мощности для электроснабжения систем АСУ-ТП, АСКУЭ, АСТУЭ, систем автоматического регулирования частоты и мощности;
- для электроснабжения электродвигателя с генератором аварийного освещения в форс мажорных условиях.

В диссертации проведен анализ используемых в стране систем гарантированного питания по отраслям машиностроения, нефтедобычи и систем автоматического управления производственными процессами.

Особо следует отметить, что в работе произведен анализ не только отечественных, но и зарубежных аналогов.

Подробно рассмотрен вопрос подбора и использование аккумуляторных батарей. Отличительной особенностью является расчет токов короткого замыкания в цепях постоянного тока.

1 Анализ используемых в стране систем гарантированного питания

1.1 Система гарантированного электроснабжения

Дизель-генераторная установка – это устройство, состоящее из мощного генератора электрического тока, имеющего привод вращения от дизельного двигателя.

ДГУ, способно обеспечить длительную автономную работу предприятия на полных мощностях. Установка является резервным источником питания на предприятиях, которые по всем требованиям должны постоянно обеспечиваться электричеством.

Современные системы автоматики в постоянном режиме отслеживают напряжение в основной сети, и как только происходит авария, автоматически запускают дизельный генератор (ДГУ, мини электростанцию). После запуска, уже через непродолжительное время, напряжение автоматически подается в обесточенный объект, а как только ток основной сети появляется и становится стабильным, обеспечение электричеством объекта переключается обратно на основную сеть.

Помимо этого, современные системы автоматики, могут в постоянном режиме мониторить состояние генератора (мини электростанции):

- проверять заряд АКБ;
- подогревать охлаждающую жидкость, для обеспечения запуска в холодный период;
- проводить тестовые запуски мини электростанции с установленной периодичностью.

Все это делается для того, чтобы генератор в любой момент в случае необходимости безотказно запускался и обеспечивал электричеством объект.

В случае выявления неисправностей, автоматика, при наличие определенной функции, может сигнализировать через сеть GSM, о

нарушении в работе генератора, как на телефон владельца мини электростанции, так и на пульт организации, отвечающей за обслуживание. Также программа может не только включать мини электростанцию при отсутствии основной сети, но и дополнять, при помощи генератора, недостаток мощности при увеличении энергопотребления. Для обеспечения бесперебойного питания можно использовать несколько генераторов (мини электростанций) работающих параллельно. При помощи специальных блоков синхронизации, при значительном потреблении электроэнергии, генераторы (мини электростанции) будут работать одновременно на общую нагрузку и выдавать необходимую мощность. Самым же идеальным вариантом обеспечения объекта гарантированным электроснабжением является комплексный проект, сочетающий в себе генераторы (мини электростанции) с источником бесперебойного питания. С применением последнего, автоматически исчезает стандартный перерыв в энергообеспечении, необходимый для запуска мини электростанции и ввода электроэнергии от нее в сеть объекта [19].

Перебои в электропитании могут повлечь за собой значительные убытки, необратимые последствия или даже катастрофы с человеческими жертвами. К таким организациям относят железнодорожные вокзалы, диспетчерские службы авиации, больницы и т.д.

1.1.1 Система гарантийного электроснабжения объектов нефтедобычи

Основным требованием к энергоснабжению является надежность.

Оборудование, применяемое в нефтегазовой отрасли, требует высокое качество электроэнергии, не допускающее скачков напряжения.

Эти и многие другие задачи приходится решать энергетикам нефтегазовых предприятий ежедневно.

Компания «Комплексные системы Эримеркс» выпускает современные решения по организации энергоснабжения предприятий нефтяной отрасли. Ею накоплен за почти 20 лет работы на рынке

энергетики и включает оборудование лучших мировых производителей [20].

«Для предприятий по добыче нефти и газе:

- системы автономного электроснабжения вахтовых поселков, буровых установок на базе газопоршневых и газотурбинных электростанций, дизельных электростанций FG Wilson контейнерного исполнения с системами утилизации тепла и котельным оборудованием;
- обеспечение электро- и теплоснабжения месторождений электростанциями, работающими на попутном нефтяном газе. Утилизация попутного газа на месторождениях позволяет получать дешевую электроэнергию в удаленных районах добычи;
- системы на базе комплектных блочно-модульных электростанций собственного производства для резервного электроснабжения;
- системы управления (АСУ ТП) многоагрегатными электростанциям.

Для предприятий обеспечивающий транспорт нефти и газа:

- системы электроснабжения на базе комплектных блочно-модульных электростанций собственного производства.
- гибридные системы электроснабжения на базе возобновляемых источников электроэнергии (ветро-солнце-дизельные электростанции) для удаленных контроллеров и систем автоматики и телемеханики.

Для предприятий по переработке сырья:

- системы автономного электроснабжения на базе газопоршневых и газотурбинных электростанций с системами утилизации тепла и котельным оборудованием;
- системы электроснабжения питания на базе высокопроизводительных и надежных источников бесперебойного питания Eaton для защиты критической нагрузки» [21].

Для сбытовых предприятий:

- системы электроснабжения на базе комплектных блочно-модульных электростанций;

- системы бесперебойного питания на базе надежных источников бесперебойного питания Eaton.

1.1.2 Продукция NeuHaus

Компания «NeuHaus» работает в сфере комплексного инжиниринга в области малой и средней энергетики. В основе проектов лежит оборудование для автономных систем электроснабжения (дизельные электростанции ДГУ, источники бесперебойного питания ИБП, газопоршневые установки ГПУ, средства автоматизации, распределительные устройства, модульные здания и блок-контейнеры).

Состав оборудования и работ (услуг) компании «NeuHaus»:

1. Оборудование:

а) Автоматизированные дизель-генераторные установки (электроагрегаты и электростанции) единичной мощностью от 10 до 3500 кВА следующих исполнений:

- ДГУ стационарные бескапотного (открытого) исполнения;
- в цельносварном утепленном блок-контейнере, в т.ч. северного исполнения;

- в блок контейнере с ограждающими конструкциями из сэндвич-панелей;

- передвижные электростанции капотного (всепогодный кожух) и контейнерного исполнений;

- ДЭС многоагрегатные, обеспечивающие автоматическую параллельную работу, как между собой, так и с электрической сетью.

б) Мобильные здания различного функционального назначения:

- блок контейнеры (дизельная, связи, типа Север, жилые, телекоммуникационный контейнер, сварочный пост, тепловой пункт, топливозаправщик и др.);

- блочно-модульные комплексы на базе блок контейнеров.

в) Низковольтные комплектные устройства:

– шкафная продукция (шкафы управления, силовые шкафы, вводно-распределительные устройства, в том числе АВР, шкафы вспомогательной автоматики, шкафы удаленного мониторинга и др.);

– комплекты оборудования для автоматизации дизель генераторных электростанций, включающие в себя шкафы управления и автоматики, датчики и исполнительные устройства дизельной автоматики и систем жизнеобеспечения станции.

г) Системы удаленного мониторинга и управления.

2. Работы:

– разработка проектных решений по оснащению действующих и проектируемых автономных систем электроснабжения;

– выполнение монтажных, шеф-монтажных и пусконаладочных работ, гарантийное и послегарантийное обслуживание дизельных электростанций, источников бесперебойного питания, газопоршневых установок;

– замена, реконструкция и модернизация устаревшего оборудования дизельных электростанций на объектах заказчика;

– оборудование действующих объектов автономного электроснабжения компьютерными системами удаленного мониторинга и диспетчеризации;

– капитальный ремонт дизель-электрических установок;

– проведение ознакомительных семинаров с обслуживающим персоналом заказчика по продукции, поставляемой компанией «NeuHaus»;

– весь перечень монтажных работ энергетического оборудования, позволяющих выполнить проект "под ключ".

Компания «NeuHaus» выполняет поставки дизель генераторных установок ведущих мировых производителей FG Wilson (Caterpillar), Cummins, AKSA и др., в том числе смонтированные в существующие помещения, с выполнением монтажных и пусконаладочных работ,

сервисного обслуживания, а также обучение персонала эксплуатирующей организации.

1.1.3 Система гарантийного питания ГК «Перемена»

Системы гарантированного (бесперебойного) электроснабжения предназначены для обеспечения качественного электроснабжения при отключении электрической сети (или отклонениях величины напряжения, частоты, искажении формы, шумах и т.п.) или для автономной работы оборудования при полном отсутствии электрических сетей рядом с объектом.

Типичные риски или проблемы вероятность возникновения, которых снижает источник бесперебойного питания:

- потеря данных (если пропало напряжение питания в момент записи информации, данные уже не восстановить, что справедливо не только для жестких дисков, но и для микросхем энергонезависимой памяти);

- отказ оборудования, как из-за потери служебной информации, так и из-за работы на пониженном / повышенном напряжении, искажения формы напряжения;

- нарушения в работе оборудования, синхронизирующегося от сети, при нарушении частоты потеря питания в технологическом процессе может привести к порче оборудования (например, металл, застывший в печи), сырья, изделий;

- в медицине проблемы с оборудованием могут привести к катастрофическим последствиям.

При кратковременном (менее часа) нарушении качества электрической сети рациональнее использовать источники бесперебойного питания, которые запасают энергию в аккумуляторных батареях поскольку:

- быстрее генератора выходит на рабочий режим;
- выше качество вырабатываемой электроэнергии;
- проще в обслуживании;
- экологичнее (нет сильных шумов и выделений газов);

– меньше специальных требований к месту установки (например, для гарантированного запуска при низких температурах и удобства обслуживания генератора, необходим контейнер с отводом газов, термостабилизацией, управлением притоком воздуха и системой пожаротушения).

При долговременном пропадании напряжения питания желательно использовать дизельные или газовые электростанции (генераторы), источник бесперебойного питания в этом случае используется только на время выхода генератора на рабочий режим, поскольку стоимость (да и масса и занимаемая площадь) аккумуляторных батарей будет довольно высока. В зависимости от задач и предпочтений Заказчика мы предлагаем оптимальные по стоимости генераторы (например, Wilson, TSS) с различным климатическим исполнением и уровнем автоматизации.

В зависимости от типа нагрузки и ее требований к качеству электрической энергии мы поставляем ИБП различных конфигураций от лидеров отрасли APC и Eaton или широкий выбор бюджетных решений.

При незначительном отклонении величины питающего напряжения можно использовать и обычные стабилизаторы напряжения, например, TSS. Если наблюдаются искажения формы кривой, отклонение частоты можно использовать ИБП двойного преобразования в режиме кондиционера питания, некоторые ИБП могут работать в этом режиме без аккумуляторов.

В системе бесперебойного электроснабжения ГК «Перемена» имеется множество проектов с использованием трехфазных источников бесперебойного питания (ИБП) мощностью свыше 50 кВА.

Многолетний опыт обслуживания и ремонта ИБП различной мощности позволяет подбирать ИБП под различные условия эксплуатации.

1.1.4 ООО«ГруппаЭнэлт» - Применение системы гарантийного питания

«Основными потребителями низкого напряжения на электростанциях и подстанциях, требующими гарантированного питания служат потребители системы оперативного постоянного тока (СОПТ).

Обычные ИБП переменного тока в данном случае не применяются.

Структурная схема:

Группа ЭНЭЛТ представляет на рынок комплекс СГБП (система гарантированного бесперебойного питания), состоящий из:

- панели ввода, включающей из АВР, защитных и коммутационных аппаратов для преобразователей напряжения;
- выпрямительной системы;
- аккумуляторной батареи (АБ);
- инверторной системы;
- панелей распределения постоянного и переменного тока.

В нормальном режиме работы выпрямительная система питает потребителей постоянного тока и подзаряжает аккумуляторную батарею. В аварийном режиме питание потребителей постоянного тока осуществляется непосредственно от АБ.

Потребители переменного тока без гарантированного питания подключаются к выходу АВР и питаются от инверторной системы. Структурная схема показана на рисунке 1» [22].

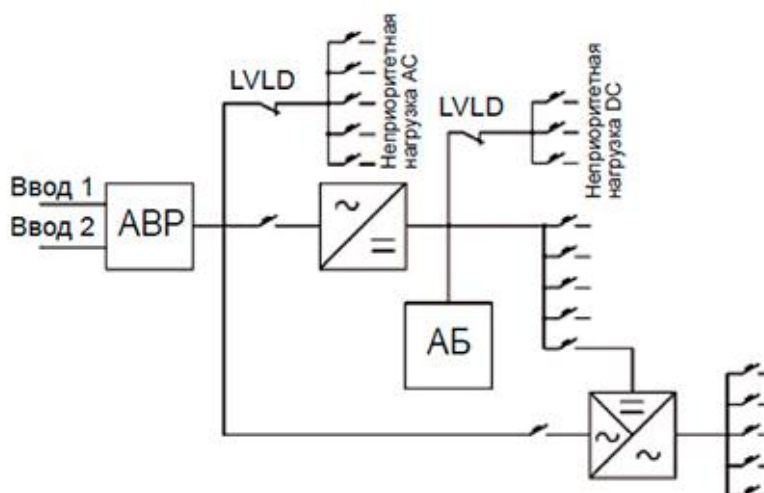


Рисунок 1 – Структурная схема СГБП

«Аккумуляторная батарея:

В качестве аккумуляторной батареи, чаще всего используются герметизированные свинцово-кислотные 12-ти вольтовые моноблоки с рекомбинацией газа и литий-ионную аккумуляторную батарею.

Это позволяет уменьшить размеры и вес АБ, при этом электрические характеристики значительно превосходят параметры свинцово-кислотных элементов. Литий-ионные аккумуляторы обладают большей удельной емкостью, большей плотностью энергии, большим напряжением на элементе, более коротким временем заряда, хорошим сроком эксплуатации и экологической чистотой, широким температурным диапазоном, системой контроля состояния АБ.

Конструктивное исполнение СБП:

Система разделена на аккумуляторный отсек и аппаратный отсек, который в свою очередь имеет деление на отсек постоянного и отсек переменного тока.

Система сигнализации и мониторинга СГБП:

Коммутационные и защитные аппараты снабжены дополнительными контактами сигнализации положения и аварийного отключения, которые могут контролироваться визуально (световая индикация на мнемосхеме). Измерительные приборы снабжены интерфейсом RS485 передают свои показания в контроллер или непосредственно в АСУ ТП верхнего уровня. Режимы работы СГБП и аварийные ситуации индицируются по месту с помощью светосигнальной аппаратуры, выдаются в виде сообщений «сухой контакт», а также передаются в АСУ ТП» [13].

1.1.5 Источники бесперебойного питания (ИБП) Riello [6]

«Компания РусЭнергоИнжиниринг может обеспечить поставку и обслуживание ИБП производства RIELLO UPS (Италия).

Источники бесперебойного питания (ИБП, UPS) – оптимальное решение по защите электропитания и управлению энергопотреблением персональных компьютеров, рабочих станций, периферийного оборудования ЛВС, объектов вычислительной и телекоммуникационной инфраструктуры и других ответственных потребителей.

Модельный ряд ИБП RIELLO:

Группа компаний RIELLO Industries является одной из известнейших корпораций Италии. Выпуском высокотехнологичных ИБП занимается RIELLO UPS Manufacturing - один из признанных мировых лидеров в разработке и производстве систем бесперебойного электропитания. Компания RIELLO UPS имеет три научно-исследовательских центра, а производство осуществляется на четырех собственных заводах компании в Италии.

В портфеле компании выпускает более 75 моделей в диапазоне мощностей от 300 ВА до 4800 кВА, построенных по схемам Line-Interactive и On-Line. Некоторые из моделей указаны в таблице 1» [23].

Таблица 1 – Модельный ряд ИБП

Серия	Мощность ИБП (количество фаз)	Описание серии
Master MPS	10-100 кВА (1 ф) 10-80 кВА (3 ф)	«ИБП on-line двойного преобразования класса VFI SS 111 согласно IEC EN 62040-3 с изолирующим трансформатором на выходе инвертора. • Контроль работоспособности системы (ECS) • Гальваническая развязка • Высокая устойчивость к перегрузке • ЖК-дисплей» [23].
Master HP	100-600 кВА (3 ф)	«ИБП On-line двойного преобразования, с использованием IGBT-транзисторов и при управлении на основе DSP (цифровых сигнальных процессоров) • Высокий КПД (до 98,5%) • Входной каскад по IGBT-технологии • Гальваническая развязка • Высокая устойчивость к перегрузке • Графический дисплей» [23].

<p>Master Static By-pass</p>	<p>800-3000 кВА (3 ф)</p>	<p>«Решение с централизованным байпасом, предназначенное для средних/крупных центров обработки данных</p> <ul style="list-style-type: none"> • Гибкость в эксплуатации • Идеальное решение для ИБП, подключенных параллельно, с мощностью, превышающей 1 МВА • Централизованная диагностика» [23].
<p>Master Switch STS</p>	<p>100-600 А (3 ф)</p>	<p>«Использование статических переключателей Master Switch в системе электроснабжения обеспечивает надежную защиту от любых возможных возмущений со стороны источников питания</p> <ul style="list-style-type: none"> • Высокая надежность • Функция “Hot Replacement” • Версии с 3-мя и 4-мя жилами • Расширенные возможности по обмену информацией» [23].

Продолжение таблицы 1

Multi Guard Industrial	1-8 x 20 кВА (3 ф)	<p>«Высокая функциональная гибкость позволяет ИИБ данной серии воспринимать как однофазное, так и трехфазное входное напряжение без необходимости какой-либо настройки и без участия оператора.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Высокая адаптируемость к входному напряжению • Нулевое воздействие на внешнюю сеть • Возможность работы в промышленной среде • Модульное решение Plug & Play» [23].
Multi Pass MBV	10 А, 16 А 32 А, 100 А	<p>«Байпас обслуживания Ручной байпас Multi Pass позволяет исключить ИИБ в случае поломки или неполадок в его работе» [23].</p>
Multi Switch ATS	16 А (1 ф)	<p>«Устройство Multi Switch ATS позволяет добиться самого высокого уровня бесперебойности электроснабжения системы. При его использовании уровень надежности выше, чем в случае отдельно взятого ИИБ или в случае использования байпаса.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Дублированное питание • Защита нагрузок • Гибкость в использовании» [23].
Multi Sentry	10-120 кВА (3 ф)	<p>«Технология On Line двойного преобразования согласно классификации VFI-SS-111, норматив IEC EN 62040-3. ИИБ управляется микропроцессором DSP (цифровым сигнальным процессором), не оказывает никакого воздействия на внешнюю сеть электропитания и способствует экономии электроэнергии.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Минимальные размеры • Высокий КПД(до 96,5%) • Широкие возможности по обмену информацией» [23].
Dialog Vision	500-1100 ВА (1 ф)	<p>«ИИБ с технологией Line Interactive и синусоидальным выходным напряжением. Наилучшая защита для сетевых периферийных устройств, традиционных серверов и для сетевых систем резервирования.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Высокий уровень защиты • Высокая надежность • Гибкость • ЖК дисплей • Автоматическая регулировка напряжения (AVR) » [23].
iDialog	400-1600 ВА	<p>«Идеальное решение для защиты ПК и периферийных устройств в офисе</p> <ul style="list-style-type: none"> • Компактность • Бесшумность • Автоматический перезапуск • Низкое потребление энергии» [23].
iPlug	600-800 ВА (1 ф)	<p>«Решение для защиты домашних и офисных систем</p> <ul style="list-style-type: none"> • Компактность • Гибкость в использовании • Автоматический перезапуск • Возможность замены батарей пользователем» [23].
Net Power	600-2000 ВА (1 ф)	<p>«ИИБ с технологией Line Interactive</p> <ul style="list-style-type: none"> • Автоматическая регулировка напряжения (AVR) • Широкие возможности по обмену информацией • Автоматическое тестирование батарей» [23].

Продолжение таблицы 1

Sentinel Dual SDL	3,3-10 кВА	<p>«Идеально подходят для разнообразного использования: от компьютерных систем до систем безопасности. Серия Sentinel Dual использует технологию On line двойного преобразования (VFI)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Выбор режима работы • Высокое качество выходного напряжения • Высокая надежность батарей • Функция резервного ИБП» [23].
Sentinel Power	5-10 кВА	<p>«Благодаря технологии On line двойного преобразования, характеристикам (выбор режимов работы Экономичный или Smart Active), диагностике (ЖК-дисплей, интерфейсы RS232 и USB с ПО PowerShield3, вход с контактом экстренного отключения ESD, слот для подключения сетевых аксессуаров), Sentinel Power является одним из лучших ИБП, присутствующих на рынке.</p> <p>Высокая надежность ИБП • Выбор режима работы • Высокое качество выходного напряжения • Высокая надежность батарей • Слабое влияние на сеть» [23].</p>
Sentinel Pro	700-3000 ВА	<p>«ИБП OnLine двойного преобразования обеспечивает защиту таких ответственных нагрузок, как серверы, IT-системы и устройства для передачи речевой информации. В системах, где требуется длительное время работы от батареи, можно увеличить время автономной работы до многих часов благодаря использованию версий ER, снабженных усиленным зарядным устройством</p> <ul style="list-style-type: none"> • Функция резервного ИБП • Оптимизация работы батарей • Возможность увеличения времени автономной работы • Низкий уровень шума» [23].
Vision Dual	1100-3000 ВА	<p>«ИБП Vision Dual с цифровой синусоидальной технологией предназначен для сетевых периферийных устройств, традиционных серверов и для сетевых систем резервирования. ИБП позволяет достичь КПД=98%, и сократить расход электроэнергии; кроме того, имеет выходной коэффициент мощности 0,9.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Автоматическая регулировка напряжения (AVR) • Высокий КПД • ЖК дисплей • Широкие возможности по обмену информацией» [23].

«ИБП Riello серии Master HP F:

ИБП Riello серии Master HP F характеризуют исключительно высокий КПД и максимальная надежность. ИБП серии реализованы по технологии On-line двойного преобразования с использованием исключительно IGBT-транзисторов и управлении на основе DSP (цифровых сигнальных процессоров). Источник бесперебойного питания Master HP F обеспечивает

максимальную защиту и качество электропитания для любого типа нагрузки – как компьютерной, так и промышленной, в том числе для применения в особо ответственных областях» [23]. Некоторые из моделей указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Модели серии Master HP F

Модель	Мощность, кВА
Master HP MHT100F	100
Master HP MHT120F	120
Master HP MHT160F	160
Master HP MHT250F	250
Master HP MHT300F	300
Master HP MHT400F	400
Master HP MHT500F	500
Master HP MHT600F	600
Master HP MHT800F	800
Master HP MHT1000F	1000

«Гарантии качества ИБП RIELLO:

Модельный ряд ИБП Riello сертифицирован Министерством Связи России и рекомендован к применению не только на общегражданских объектах, но и на важных государственных объектах связи и телекоммуникаций. Имеется Санитарно-эпидемиологическое заключение РФ на всю линейку ИБП Riello.

Все производство Riello UPS Manufacturing сертифицировано по ISO 9001 международным органом по сертификации Det Norske Veritas.

Окончательные испытания с жестким прогоном оборудования в специальных условиях, позволяют Riello UPS Manufacturing поставлять своим клиентам очень качественное и надежное оборудование, на которое устанавливается стандартная 2-х летняя заводская гарантия, независимо от его мощности» [6].

1.1.6 АО «Абсолютные Технологии»

Промышленные или индустриальные источники бесперебойного питания (ИБП) предназначены для защиты критических процессов на производственных предприятиях, комплексах нефтедобычи и переработки, нефтехимии, на электростанциях и других объектах энергетики, на военных базах, на транспортных узлах и пр. При этом они обеспечивают электропитание не только систем контроля и автоматики, но и различных исполнительных механизмов.

Вот некоторые характеристики, которые должны быть присущи промышленным решениям:

- высокая надёжность и отказоустойчивость,
- удобный доступ ко всем компонентам для их быстрой диагностики и замены,
- возможность работы в условиях неблагоприятной электромагнитной обстановки,
- устойчивость к ударным и вибрационным нагрузкам,
- работа в расширенном температурном диапазоне,
- поддержка нестандартных значений напряжения и частоты.

Обеспечение высокой надёжности системы складывается из нескольких условий: это высокое качество и надёжность комплектующих ИБП, продуманный дизайн ИБП с минимизацией точек отказа, а также применение внешних схем отказоустойчивости, например, включение источников бесперебойного питания в параллель по схеме N+1, N+2 или с другой степенью избыточности.

Производственные среды характеризуются повышенным уровнем вибрации и запылённости, расширенным диапазоном рабочих температуры и влажности, наличием сильных электромагнитных полей. При этом имеется и «отраслевая специфика».

Например, на морских нефтяных платформах к числу неблагоприятных факторов добавляются постоянная влага, соль, неустойчивость самой платформы. На объектах энергетики часто встречается требования подключения ИБП к системе оперативного тока (с напряжением 220 В=), также очень высок уровень вибраций. Особенность железнодорожного транспорта, включая метрополитен, – высокая степень вибраций (что может потребовать дополнительного закрепления внутренних компонентов ИБП и усиления разъёмов), большое разнообразие специфических видов напряжения, нестандартные частоты.

Основные требования к качественному бесперебойному питанию потребителей в промышленности, которое может быть обеспечено системой бесперебойного питания, а в случае требования длительного времени резервирования – системой бесперебойного гарантированного электроснабжения (СБГЭ).

Главным элементом таких систем является источник бесперебойного питания (ИБП). В настоящее время большинство предприятий ИБП имеют возможность производить ИБП для телекоммуникационных и IT объектов, и большинство этих ИБП применяются в щитовых или в специальных помещениях, что не подходит для промышленных случаев. Только немногие компании-производители ИБП выпускают специализированные модели промышленных устройств. К числу таких компаний относится партнёр АО «Абсолютные технологии» - компания Kehua Tech.

Kehua Tech, как ведущий поставщик энергетических решений, имеет возможность предоставлять ИБП для различных промышленных объектов. Наглядным свидетельством высокого качества продукции Kehua является то, что она уже используется на нескольких китайских атомных

электростанциях. До сих пор Kehua Tech является первой и единственной китайской компанией, которая может предоставить источники бесперебойного питания для атомной энергетики. Это также доказывает, что Kehua обладает чрезвычайно сильными промышленными исследованиями и разработками ИБП, а также производственными мощностями.

Как известно, атомная энергетика предъявляет строгие и критические требования, все оборудование, которое будет использоваться в этой отрасли, должно соответствовать строгим стандартам.

Kehua имеет все возможности для исследования, разработки и производства ИБП для промышленного применения. Например, Kehua разработала и произвела первый в Китае ИБП для атомной энергетики и успешно применила его на атомной электростанции Хуалонг-1. Такой ИБП используется на атомной электростанции для обеспечения энергией системы управления ядерным реактором, для него характерно соответствие условиям промышленной площадки, такой как способность противостоять землетрясению силой 10 баллов. В ИБП использована военная технология покрытия плат специальным составом (лаком), внутренний двухконтурный источник питания и так далее.

Kehua регулярно принимает участие в торгах, которые проводят мировые нефтеперерабатывающие и химические предприятия. Победа на таких конкурсах достигалась благодаря тому, что для нефтехимических предприятий у Kehua уже есть разработанные схемы электроснабжения всей производственной цепочки от добычи нефти до её переработки. Такие клиенты обращают особое внимание на надежность ИБП. Например, ведущие нефтеперерабатывающие компании придают большое значение конструкционному запасу ИБП, которые должны справляться со сложной нагрузкой в каждом звене нефтепереработки.

Для промышленного применения наиболее подходят серии FR-UK (с различной конфигурацией фаз на входе и выходе – 1/1, 3/1 и 3/3) и FR-UK DL(выпускается для систем с трёхфазным входом

и однофазным или трёхфазным выходом). ИБП этих серий имеют трансформаторную конструкцию инвертора, высоконадёжный и эффективный тиристорный выпрямитель, степень защиты корпуса до IP31 и другие характеристики, делающие возможным их применение в промышленных системах электропитания. ИБП работают как со свинцово-кислотными (герметизированными или заливными) АКБ, так и с никель-кадмиевыми или литий-ионными батареями.

Специалисты АО «Абсолютные Технологии» хорошо знают, что каждый потребитель электроэнергии на промышленном объекте индивидуален, он может предъявлять свои особенные требования как к качеству питающего напряжения, так и к устройствам, обеспечивающим защиту от некачественного электропитания.

1.2 Разработка основных технических решений системы гарантийного питания

1.2.1 Технологическая структура и описание процесса деятельности

СГП, при внедрении на Жигулевскую ГЭС представляет собой структуру, обеспечивающую электропитание трехфазным переменным током оборудования АСУ ТП, устройств связи, телемеханики, управления, видеонаблюдения и охранной сигнализации.

«Функции СГП:

– Основной функцией СГП является защита всех типов вычислительного и телекоммуникационного оборудования, чувствительного к качеству электроснабжения: компьютеров, рабочих станций, серверов, сетевого оборудование и т. д.

– Силовое оборудование СГП может защищать от отказов, связанных с электроснабжением низкого качества или с полным отключением подачи

электроэнергии, а также от нарушений электропитания, вызванных внешними помехами.

– АБП может устранять помехи, возникающие в сети, будет поддерживать постоянное напряжение и при необходимости подает автономное питание на критическую нагрузку. Эти функции позволяют изолировать от неполадок в сети чувствительные системы, в которых возможно повреждение программного обеспечения и данных, или нарушение нормальной работы оборудования» [24].

Структура построения и состав узлов СГП ППУ-500 (новое) и водосливной плотины выполнены на основе Руководящих указаний по проектированию электропитания технических средств диспетчерского и технологического управления.

В рамках проекта по модернизации СГП предполагается установка двух комплектов АБП и шкафов АВР и РШ для питания оборудования АСУ ТП на ППУ-500кВ (новое), а также установку шкафа АВР на ТП «Северная», расположенной на водосливной плотине (ВСП)

В шкафах АВР предусмотрена установка контроллеров для сбора диагностической информации от оборудования СГП и передачи её в САУ СГП и АСУ ТП.

Структура СГП состоит из десяти независимых узлов:

- Агрегат бесперебойного питания (СГП СТСУ);
- Агрегат бесперебойного питания (СГП ППУ-110кВ);
- Агрегат бесперебойного питания (СГП ППУ-220кВ);
- Агрегат бесперебойного питания (СГП ППУ-500кВ);
- Агрегат бесперебойного питания (СГП ППУ-КДО);
- Агрегат бесперебойного питания (СГП ППУ-ВОХР);
- Агрегат бесперебойного питания (СГП зд. ГЭС);
- Агрегат бесперебойного питания (СГП ВСП);
- Сервер (САУ СГП).

Модернизации коснутся следующие узлы:

- СГП ППУ-500кВ (новое);
- СГП ВСП.

Кроме того, на остальных узлах СГП необходимо предусмотреть:

- замену аккумуляторных батарей, исчерпавшие свой ресурс с момента установки более 10 лет и предусмотреть ЗИП.

Каждый узел СГП представляет собой независимую часть общей системы и отвечает за электропитание устройств, объединенных территориальным признаком.

По проекту модернизации узел СГП оборудования АСУ ТП Жигулевской ГЭС включает:

1) комплекты бесперебойного питания мощностью 20 кВА, выполненные на двух АБП типа Enertronic I 3-3 20 производства компании Benning. Оба комплекта образуют резервируемую между собой систему гарантированного питания оборудования, относящегося к данному узлу. При выходе из строя одного из комплектов электропитание потребителей продолжает осуществляться от другого комплекта.

«Агрегат бесперебойного питания Benning Enertronic, представляет собой моноблочные полупроводниковые преобразователи со звеном постоянного тока и имеет:

- трехфазный вход с диапазоном входного напряжения 290..480В;
- трехфазный выход с номинальным напряжением 380В;
- ввод внешней АБ с номинальным напряжением 185-295В;
- номинальную выходную мощность 40кВА» [24].

2) шкаф автоматического включения резерва и распределительный шкаф (АВР и РШ)

- для узла ППУ-500кВ (новое) и шкаф АВР для ТП «Северная».

Шкафы АВР и РШ состоят из:

- оболочки Prisma P;
- автоматических выключателей типа NSX компании Schneider Electric;

– автоматических выключателей типа IC60 из линейки Acti9 компании Schneider Electric;

– комплектов ступенчатых распределительных блоков медных шин;

– комплектов САУ СГП на базе ПЛК типа ET200S фирмы Siemens.

Электропитание шкафа АВР и РШ ППУ 500 организовано от двух источников переменного трехфазного тока напряжением 380 В. Шкаф АВР имеет две секции с секционным выключателем. С каждой секции запитан АБП, схема АВР организована на ПЛК САУ СГП типа ET200S фирмы Siemens. Шкаф АВР предназначен для организации бесперебойного питания АБП.

Комплекты бесперебойного питания мощностью 20 кВА, выполненные на двух АБП типа Enertronic I 3-3 20 производства компании Venning. Они предназначены для:

– организации безударного перехода питания в случае работы схемы АВР;

– перехода питания потребителей от АБ в случае пропадания питания от СН 0,4 КВ;

– улучшения качества электропитания потребителей по напряжению и частоте.

От выходов комплектов АБП запитаны две секции распределительного устройства потребителей (РШ1, РШ2). Оборудование АСУ ТП, имеющее два независимых резервируемых блока питания, подключаются к разным секциям данного распределительного устройства. Границами СГП являются контакты отходящих выключателей в ЩСН, а также клеммные зажимы от автоматических выключателей на выходе из шкафов АВР и РШ.

Диагностическая информация от Venning Enertronic передается в САУ СГП и АСУ ТП по протоколу SNMP по сети Ethernet через узлы доступа к ТСПД.

Отображение информации производится на автоматизированных рабочих местах АРМ ОП. В качестве АРМов специалистов используются компьютеры на основных рабочих местах.

Для организации передачи данных о состоянии и режимах работы оборудования каждого модернизируемого узла СГП в шкафах АВР и РШ устанавливаются станции распределенной периферии ET-200S, которым организовывается выход в ТСПД.

Аналоговые параметры (напряжения, токи и мощность) на выходе от АБП поступают в САУ СГП от ИП Satel PM135P по протоколу Modbus TCP.

СГП рассчитана на круглосуточный непрерывный режим функционирования, предусмотрены меры обеспечения работоспособности системы даже в случае отказов отдельных её компонентов.

Выход из строя любого из компонентов системы не влияет на работоспособность системы в целом.

1.2.2 Состав функции, реализуемых СГП

«Система обеспечивает выполнение следующих групп функции:

- информационные;
- управляющие;
- сервисные.

1.2.3 Информационные функции

САУ СГП обеспечивает информационные функции в составе и объеме, достаточном для однозначного понимания состояния контролируемого оборудования:

- сбор и обработка дискретных сигналов;
- сбор и обработка аналоговых сигналов;
- сбор и обработка информации, вводимой вручную с клавиатуры и операторских панелей;
- техническая диагностика;
- регистрация аварийных событий;
- архивация;

- протоколирование информации;
- отображение информации для оперативного персонала;
- формирование отчетной документации системы.

1.2.4 Управляющие функции

Система обеспечивает:

- автоматическое переключение схемы АВР на работу от резервного ввода» [24].

1.2.5 Сервисные функции

Система обеспечивает функции:

- настройка параметров;
- настройка величин пороговых значений для предупредительной и аварийной сигнализации;
- перевод функциональных узлов СГП в режим «сервис»;
- перевод функциональных узлов СГП в режим «работа».

1.2.6 Мероприятия по электромагнитной совместимости

Технологические потребители помещения ППУ-500 кВ (новое) и ТП “Северная” относятся к потребителям I категории (серверное, телекоммуникационное оборудование, являющееся основным оборудованием) и II категории по классификации ПУЭ (системы кондиционирования воздуха, освещения, бытовое и вспомогательное электрооборудование).

Проектом предполагается построение отказоустойчивой системы электропитания по системе TN-S в помещении ППУ-500 кВ (новое) и ТП “Северная” для обеспечения электропитанием основного технологического и вспомогательного оборудования в необходимых объемах и требуемого качества в нормальных и аварийных режимах, включая полную временную потерю внешнего электроснабжения. Проектируемая система будет состоять из следующих основных компонентов:

- кабельных каналов;

- систем коммутации, распределения и защит электропитания II категории, преобразовательного оборудования:

- проектируемого АБП 220/380В типа Enertronic Modular (Benning) номинальной выходной мощностью 20кВА,

- дублированной системы распределения и защит электропитания I категории;

- системы уравнивания потенциалов и защитного заземления, кабельного хозяйства.

Необходимая надежность обеспечения электропитания переменным напряжением I-й категории 220/380В будет обеспечиваться:

- взаимным дублированием АБП в системе гарантированного электропитания,

- дублированной сетью распределения электропитания I-й категории,

- рекомендацией по применению серверного и телекоммуникационного оборудования с двухсторонним (основным и резервным) электропитанием.

Необходимая надежность обеспечения электропитания переменным напряжением II-й категории 220/380 В, обеспечивается дополнительным АВР в системе электропитания вспомогательного оборудования.

Шкафы АВР и РШ выполнены на базе Schneider-Electric. Конструктив секций одностороннего обслуживания, напольного исполнения Prisma-Plus рассчитан на номинальный ток до 2300 А и максимальный ударный ток короткого замыкания I_{prk} до 187 кА, допустимый ток сквозного короткого замыкания I_{sw} до 85 кА действующий до 1 сек.

В каждой секции шкафов монтируются:

- трехфазные световые индикаторы наличия напряжения на вводном кабеле,

- собственные шины РЕ и N;

– объединенные общей шиной автоматические одно- и трехфазные выключатели С60N с характеристикой отключения по кривой «С» на номинальный ток 63...2А с максимально допустимым током КЗ 10кА;

– блок-контакты состояния вводных и распределительных автоматических выключателей

– клеммные колодки системы мониторинга с возможностью избирательного подключения.

В нижней части щитов монтируется ГЗШ. Магистральные сети будут выполнены кабелем ВВГнг, проложенным в гофрированной трубе по перегородкам ГВЛ, в подготовке пола. Распределительные сети будут выполнены кабелем ВВГнг, проложенным гофрированной трубой по перегородкам ГВЛ, проводом м.ПВ1 в гофрированной и в стальной трубках в подливке пола и частично в кабель канале.

Кабели питания по кабельному полуэтажу от ЩСН нового ППУ-500 до АБП1 и АБП2 будет выполняться кабелем ВВГ(А)нг LS.

Присоединение вводной силовой цепи переменного тока АБП выполняется жгутами на основе проводов ПВ-3 25,0 мм², для соединения с кабелем ВВГ(А)нг LS предусмотрены промежуточные муфты. Непосредственное присоединение жесткого кабеля к клеммам инвертора затруднено.

Присоединение выводной силовой цепи переменного тока АБП выполняется жгутами на основе проводов ПВ-3 25,0 мм², прокладываемых по подготовленной кабельной трассе.

1.3 Разработка предложений по размещению конечных технических систем на объекте

1.3.1 Описание размещения КТС на объекте

Размещение оборудования, поставляемого в рамках реконструкции СГП Жигулевской ГЭС, приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Размещение КТС СГП

Наименование оборудования	Объект для размещения
Узел СГП ППУ-500кВ (новое)	РЗ ПА ППУ-500кВ (новое)
Узел СГП ТП “Северная”	Помещение ТП “Северная”

Комплекс технических средств размещен на объекте с учетом выполнения требований техники безопасности и соблюдения технической условий эксплуатации технических средств.

1.4 Перечень условных сокращений

АБП – агрегат бесперебойного питания.

АВР – автоматический ввод резерва.

АРМ – автоматизированное рабочее место.

ГЭС – гидроэлектростанция.

АБП – агрегат бесперебойного питания.

АСУ ТП – комплексная автоматизированная система управления технологическими процессами.

КТС – комплекс технических средств.

ППУ – подстанционный пульт управления.

ТП – подстанция.

ПТК – программно-технический комплекс.

РП – распределенная периферия.

РУ – распределительное устройство.

СГП – система гарантированного питания оборудования АСУ ТП.

СН – собственные нужды.

ТЗ – технологическое задание.

ТСПД – технологическая сеть передачи данных.

ЩСН – щит собственных нужд.

Выводы по разделу

В разделе проведен подробный анализ использованных в РФ систем гарантированного питания в различных отраслях экономики страны. Это позволило подобрать для Жигулевской ГЭС наиболее оптимальный вариант.

В ходе выполнения работ были разработаны основные технические решения с уточнением мест размещения конечных технических систем на проектируемых площадях.

2 Расчет токов короткого замыкания

2.1 Расчет токов короткого замыкания в сети – 10 кВ

«Расчет короткого замыкания, прежде всего, необходим для правильного и технически обоснованного выбора проводников, кабелей схемы и электрических аппаратов. На рисунке 2 изображена схема собственных нужд ППУ-500кВ.

Схема замещение приведена на рисунке 3.

Поскольку рассматриваемая схема симметричная, расчет производится только для двух точек (К7, К8). Точки короткого замыкания (К7 и К8) принимаются на шинах 1 и 2 секциях РУ – 0,4 соответственно. Остальные точки рассчитываются по тому же принципу. Расчетные величины токов короткого замыкания приведены в таблице ниже.

На рисунке 4 представлена схема по которой будет проводится расчет токов короткого замыкания» [9].

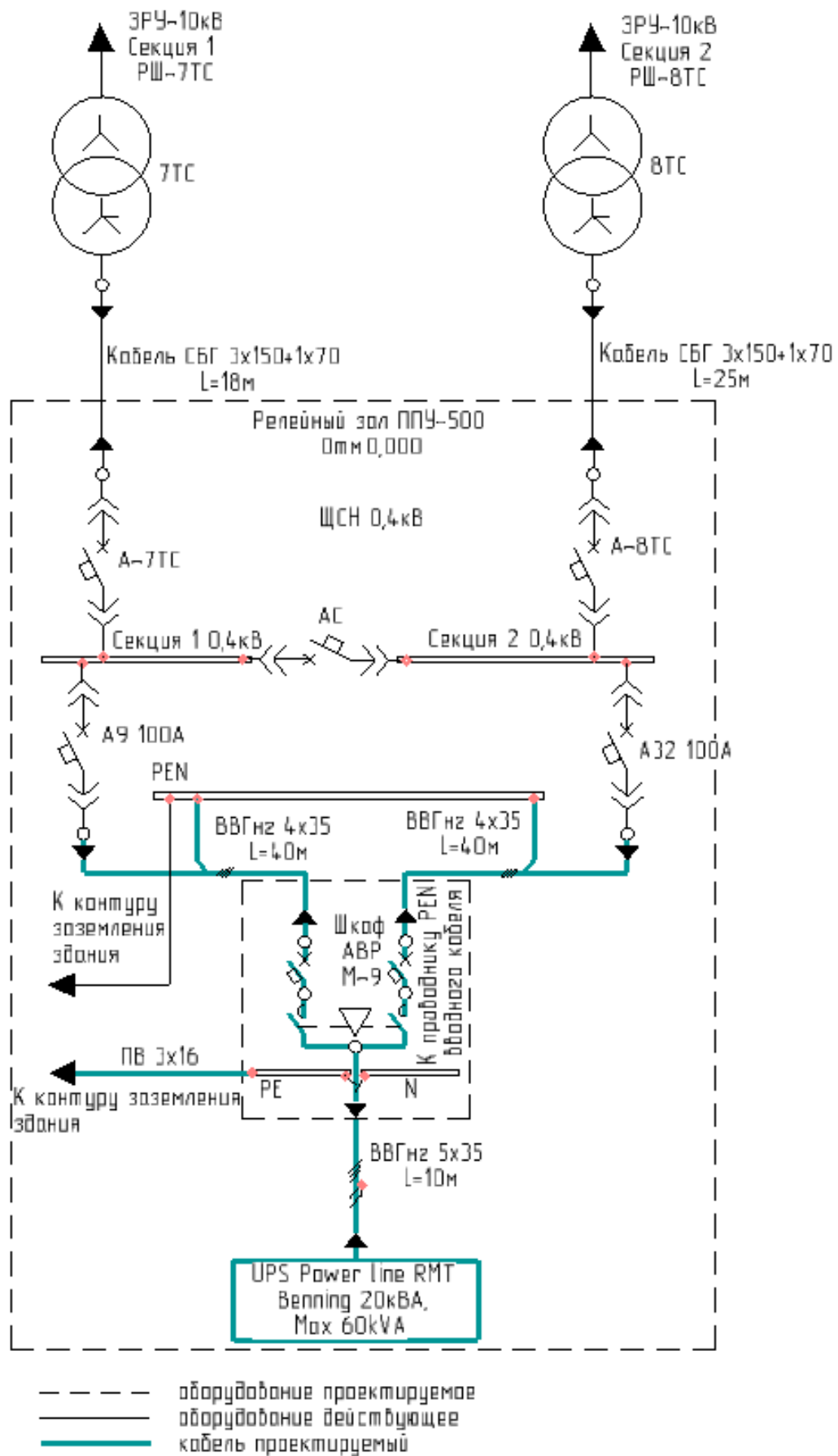


Рисунок 2 – ППУ-500кВ

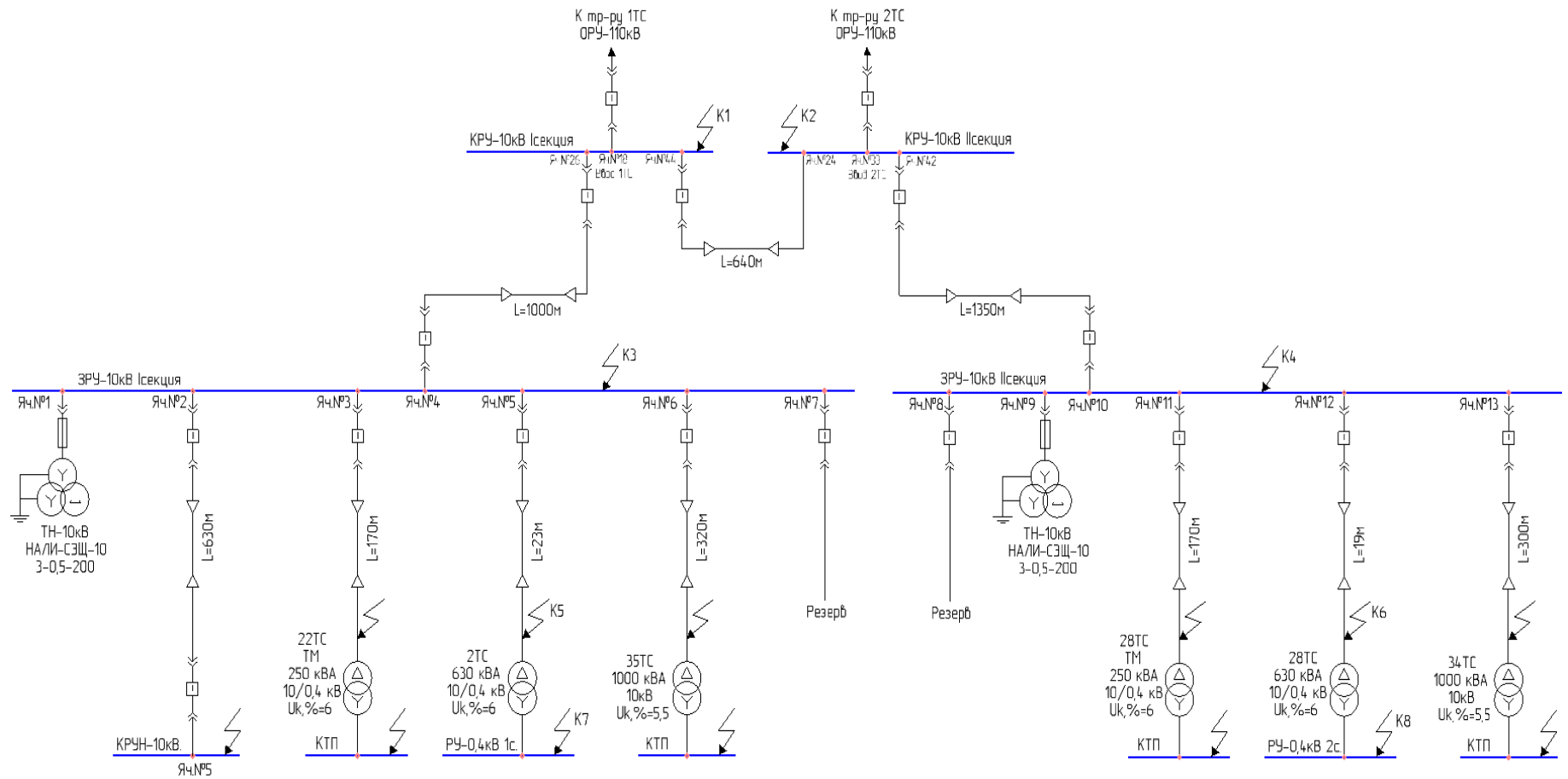


Рисунок 3 – Расположение точек короткого замыкания в ЗРУ – 10 кВ

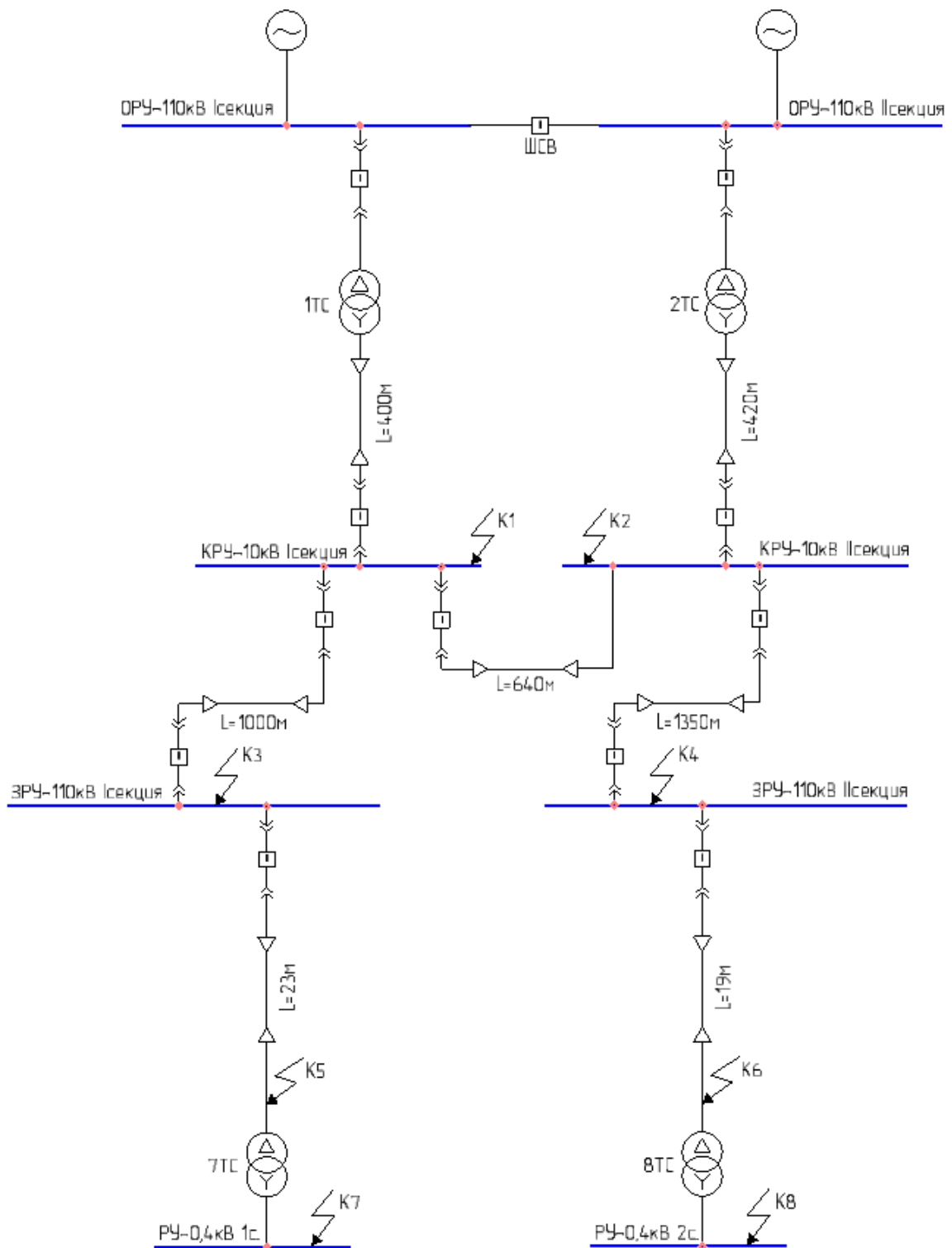


Рисунок 4 – Электрическая схема для расчета токов короткого замыкания точек К7, К8

Схема замещения показана на рисунке 5.

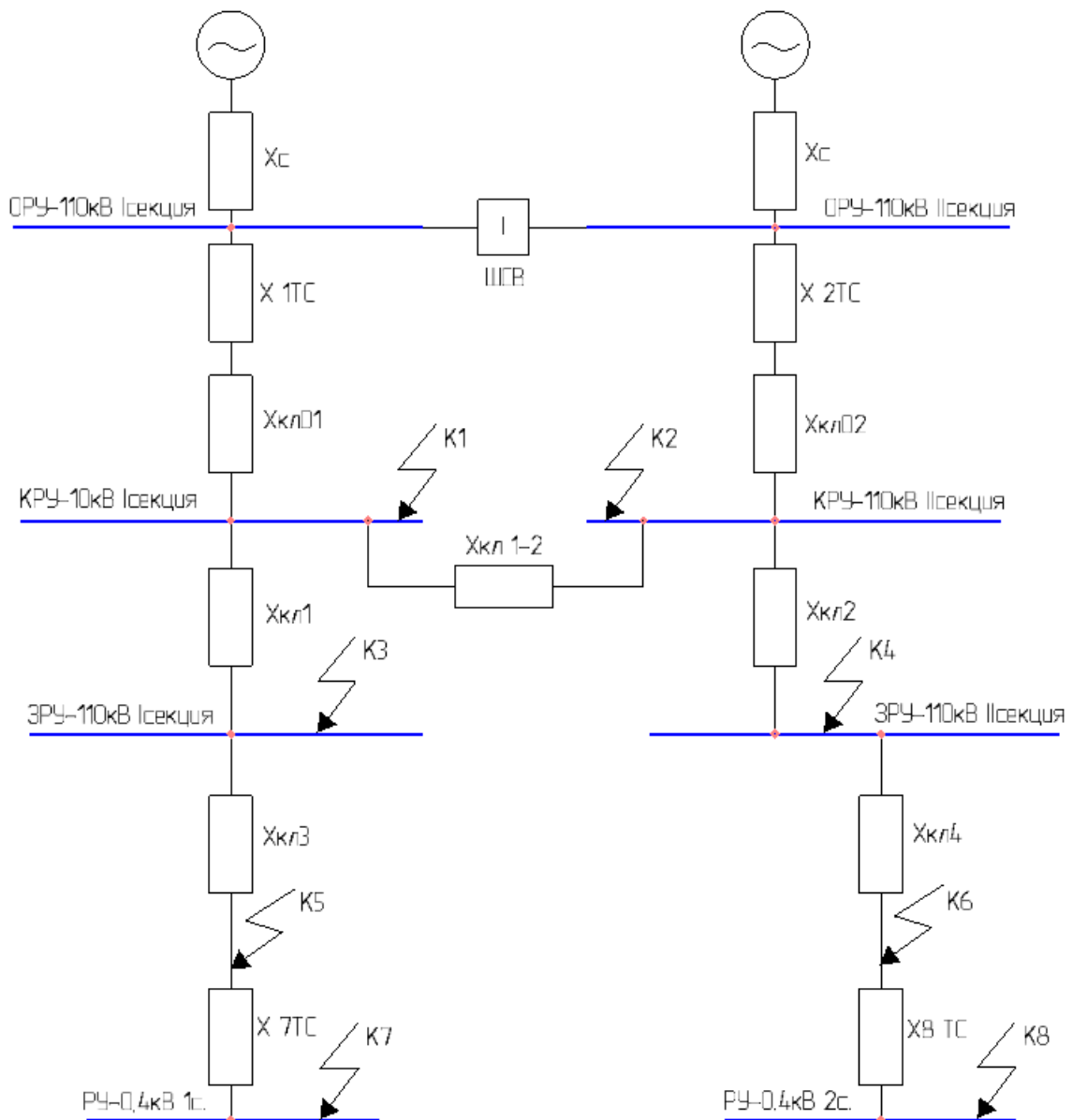


Рисунок 5 – Схема замещения

«В связи с тем, что все точки К3 присутствуют на стороне высокого напряжения (больше 1000В), расчет произведен в условных единицах, приравненным к базисным» [23]. На рисунке 6 изображена схема замещения сети питания ИБП в ППУ-500кВ от трансформатора 7ТС и 8ТС [8].

За базисные условия берем:

U_{δ} – базисное напряжение, равно 10,5кВ;

S_{δ} – базисная мощность равно 100 МВА.

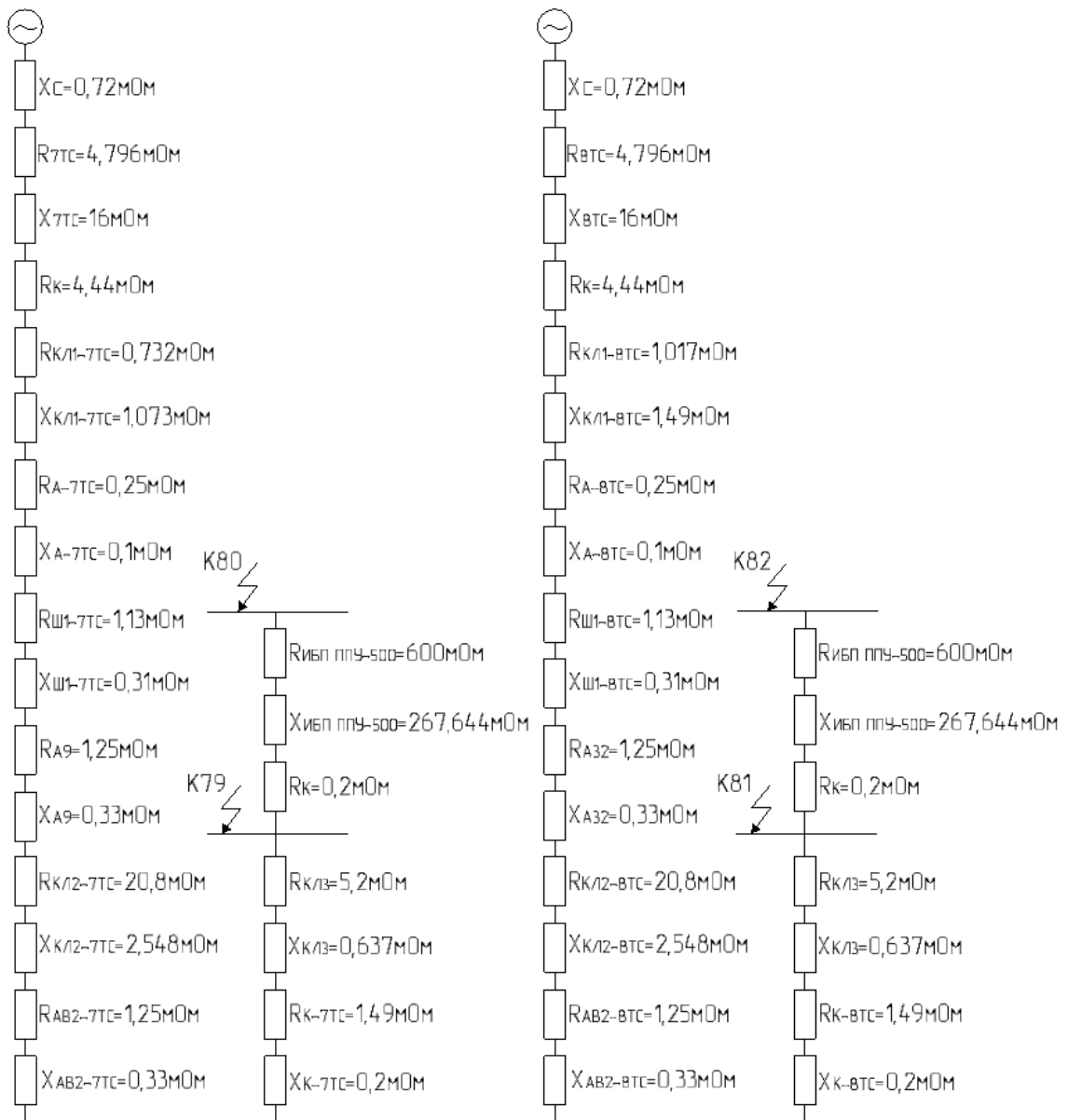


Рисунок 6 – Схема замещение сети питания ИБП в ППУ-500 от трансформатора 7ТС и 8ТС

«Средние номинальные значения напряжения берутся в соответствии с данными, приведенными в седьмом издании правил устройств электроустановок.

В соответствии с ПУЭ, для напряжения 10кВ, среднономинальное значение напряжения принимается 10,5кВ. В дальнейших расчетах значение напряжения будет приниматься среднономинальным» [11].

Базисная сила тока:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}},$$

«Далее произведем расчет значения базисного тока для двух классов напряжении 10,5кВ и 0,4кВ:

$$I_{\delta} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,41 \text{ кА.}$$

где $S_{\delta} = 1000 \text{ МВА}$, базисная мощность;

$U_{\delta} = 10,5 \text{ кВ}$, среднее номинальное значение напряжения.

$$I_{\delta} = \frac{0,630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,909 \text{ кА.}$$

где $S_{\delta} = 0,63 \text{ МВА}$, базисная мощность;

$U_{\delta} = 0,4 \text{ кВ}$, среднее номинальное значение напряжения.

Сопротивление системы определяется по следующей формуле:

$$X_c = \frac{U_{\delta}^2}{S_{\delta}},$$

$$X_c = \frac{10,5^2}{100} = 1,1.$$

где X_c – сопротивление системы;

$U_{\delta} = 10,5 \text{ кВ}$, среднее номинальное значение напряжения.

$S_{\delta} = 0,63 \text{ МВА}$, базисная мощность.

Относительное сопротивление трансформатора СН ($X_{\text{ТС}}$):

$$X_{\text{ТС}} = U_{\text{кТС}} / 100 \cdot S_{\delta} / S_{\text{ТНОМ}};$$

где $U_{\text{кТС}}$ – напряжение короткого замыкания ТС, %;

$S_{ТНОМ}$ – номинальная полная мощность трансформатора, МВА;

S_{σ} – базисная мощность, МВА» [10].

$$X_{1TC} = \frac{11}{100} \cdot \frac{10}{100} = 0,011 \text{ o.e.};$$

$$X_{2TC} = \frac{11}{100} \cdot \frac{10}{100} = 0,011 \text{ o.e.};$$

$$X_{7TC} = \frac{6}{100} \cdot \frac{10}{0,630} = 0,952 \text{ o.e.};$$

$$X_{8TC} = \frac{6}{100} \cdot \frac{10}{0,630} = 0,952 \text{ o.e.};$$

Относительное сопротивление кабельной линии $X_{КЛi}$ определяется по формуле:

$$X_{КЛi} = X_0 \cdot L_i \cdot \frac{S_{\sigma}}{U^2};$$

где X_0 – удельное индуктивное сопротивление кабельной линии, Ом/м;

U – средненоминальное напряжение кабельной линии, кВ;

S_{σ} – базисная мощность, МВА;

L_i – длина кабельной линии, км.

$$X_{КЛ01} = 0,9 \cdot 0,4 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,033 \text{ o.e.};$$

$$X_{КЛ02} = 0,9 \cdot 0,42 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,034 \text{ o.e.};$$

$$X_{КЛ1} = 0,133 \cdot 1,1 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,133 \text{ o.e.};$$

где $L_1=1100$ м – длина кабельной линии.

$$X_{КЛ1} = 0,139 \cdot 1,35 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,1702 \text{ o.e.};$$

где $L_2=1350$ м – длина кабельной линии.

$$X_{КЛ1} = 0,002 \cdot 0,023 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,00004 \text{ о.е.};$$

где $L_3=23$ м – длина кабельной линии.

$$X_{КЛ1} = 0,002 \cdot 0,019 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,00003 \text{ о.е.};$$

где $L_4=19$ м – длина кабельной линии.

Определяем полное сопротивление $X_{\sum ki}$:

$$X_{\sum ki} = X_C + X_{ITC} + X_{КЛ0i} + X_{КЛi};$$

где X_C – индуктивное сопротивление системы, о.е.;

X_{ITC} – индуктивное сопротивление трансформатора собственных нужд, о.е.;

$X_{КЛ0i}$ – сопротивление кабельной линии от КРУ 10 кВ до ячеек;

$X_{КЛi}$ – сопротивление кабельной линии от ОРУ 110 кВ до КРУ 10 кВ, о.е.

$$X_{\sum k1} = 1,1 + 0,011 + 0,033 = 1,144 \text{ о.е.};$$

$$X_{\sum k2} = 1,1 + 0,011 + 0,034 = 1,145 \text{ о.е.};$$

$$X_{\sum k3} = 1,1 + 0,011 + 0,033 + 0,133 = 1,277 \text{ о.е.};$$

$$X_{\sum k4} = 1,1 + 0,011 + 0,034 + 0,1702 = 1,3152 \text{ о.е.};$$

$$X_{\sum k5} = 1,1 + 0,011 + 0,033 + 0,133 + 0,00004 = 1,27704 \text{ о.е.};$$

$$X_{\sum k6} = 1,1 + 0,011 + 0,034 + 0,1702 + 0,00003 = 1,31523 \text{ о.е.};$$

$$X_{\sum k7} = 1,1 + 0,011 + 0,033 + 0,133 + 0,00004 + 0,952 = 2,229 \text{ о.е.};$$

$$X_{\sum k8} = 1,1 + 0,011 + 0,034 + 0,1702 + 0,00003 + 0,952 = 2,267 \text{ о.е.}$$

Для расчетов примем ЭДС существующих гидрогенераторов с демпферными обмотками $E''_{ДО} = 1,13$.

Сила тока трехфазного короткого замыкания $I_{ki}^{(3)}$:

$$I_{ki}^{(3)} = \frac{E''_{ДО}}{X_{\Sigma ki}};$$

где $E''_{ДО}$ – значение ЭДС гидрогенератора с демпферными обмотками, о.е.;

$X_{\Sigma ki}$ – полное сопротивление в i -точке о.е.

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{1,13}{1,144} = 0,988 \text{ о.е.};$$

$$I_{k2}^{(3)} = \frac{1,13}{1,145} = 0,987 \text{ о.е.};$$

$$I_{k3}^{(3)} = \frac{1,13}{1,277} = 0,885 \text{ о.е.};$$

$$I_{k4}^{(3)} = \frac{1,13}{1,3152} = 0,859 \text{ о.е.};$$

$$I_{k5}^{(3)} = \frac{1,13}{1,27704} = 0,885 \text{ о.е.};$$

$$I_{k6}^{(3)} = \frac{1,13}{1,31523} = 0,859 \text{ о.е.};$$

$$I_{k7}^{(3)} = \frac{1,13}{2,229} = 0,507 \text{ о.е.};$$

$$I_{k8}^{(3)} = \frac{1,13}{2,267} = 0,498 \text{ о.е.}$$

Силу тока трехфазного КЗ ($I_k^{(3)}$):

$$I_k^{(3)} = I_{ki}^{(3)} \cdot I_{\sigma};$$

где $I_{ki}^{(3)}$ – сила тока трехфазного КЗ в i -точке о.е.;

I_{σ} – базисная сила тока, кА.

$$I_{k1}^{(3)} = 0,988 \cdot 5,41 = 5,345 \text{ кА};$$

$$I_{k2}^{(3)} = 0,987 \cdot 5,41 = 5,340 \text{ кА};$$

$$I_{k3}^{(3)} = 0,885 \cdot 5,41 = 4,788 \text{ кА};$$

$$I_{k4}^{(3)} = 0,859 \cdot 5,41 = 4,647 \text{ кА};$$

$$I_{k5}^{(3)} = 0,885 \cdot 5,41 = 4,788 \text{ кА};$$

$$I_{k6}^{(3)} = 0,859 \cdot 5,41 = 4,647 \text{ кА};$$

$$I_{\sigma} = \frac{0,630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,909 \text{ кА};$$

$$I_{k7}^{(3)} = 0,507 \cdot 0,909 = 0,461 \text{ кА};$$

$$I_{k8}^{(3)} = 0,498 \cdot 0,909 = 0,453 \text{ кА}.$$

Мощность короткого замыкания (S_{K3i}):

$$S_{K3i} = \sqrt{3} \cdot U_{\sigma} \cdot I_{ki}^{(3)};$$

где $I_{ki}^{(3)}$ – сила тока трехфазного короткого замыкания в i -точке, кА;

U_{σ} – средненоминальное напряжение, кВ.

$$S_{K31} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 5,345 = 97,207 \text{ МВА};$$

$$S_{K32} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 5,340 = 97,116 \text{ МВА};$$

$$S_{K33} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 4,788 = 87,077 \text{ МВА};$$

$$S_{K34} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 4,647 = 84,513 \text{ МВА};$$

$$S_{K35} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 4,788 = 87,077 \text{ МВА};$$

$$S_{K36} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 4,647 = 84,513 \text{ МВА};$$

$$S_{K37} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,461 = 0,319 \text{ МВА};$$

$$S_{K38} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,453 = 0,314 \text{ МВА}.$$

В таблице 4 представлены результаты вычислений значений силы тока короткого замыкания и мощности короткого.

Таблица 4 – Конечные значения мощности к.з и силы тока к.з

№ ячейки	Длина кабельной линии, км.	Сила тока короткого замыкания, кА.	Мощность короткого замыкания, МВА.
1	ТН	–	–
2	0,68	3,580	2,480
3	0,17	0,197	0,136
4	1,1	4,788	87,077
5	0,023	0,461	0,319
6	0,32	0,731	0,506
7	Резерв	-	-
8	Резерв	-	-
9	ТН	-	-
10	1,35	4,513	4,647
11	0,17	0,193	0,134
12	0,019	0,453	0,314
13	0,3	0,717	0,497

2.2 Расчет токов короткого замыкания РУ – 0,4 кВ

«Схема для расчета тока короткого замыкания приведена на рисунке 7.

За начальные данные возьмем:

- напряжении сети, приведенное к базисному значению $U_6 = 400 В$;
- ток короткого замыкания $I_{кз}$ на питающих вводах 10кВ, для первого ввода шин $I_{кз} = 13388 А$, для второго ввода $I_{кз} = 13361 А$;
- сопротивления системы X_c для первого ввода $X_c = 0,0172 Ом$, для второго ввода $X_c = 0,0173 Ом$.

Так как питающие трансформаторы одинаковые, запишем значения параметров для одного:

- номинальное напряжение высокой стороны 10,5 кВ;
- номинальное напряжение низкой стороны 0,4 кВ;
- тип питающего трансформатора RESIBLOC 630;

– номинальная мощность трансформатора 630 кВА.

Для дальнейших расчетов нам необходимо знать активное и реактивное сопротивление цепи:

– активное сопротивление нулевой последовательности r_0 равно 0,0029 Ом;

– реактивное сопротивление нулевой последовательности x_0 равно 0,015 Ом;

– активное сопротивление прямой последовательности r_1 равно 0,0029 Ом;

– реактивное сопротивление прямой последовательности x_1 равно 0,0172 Ом» [3].

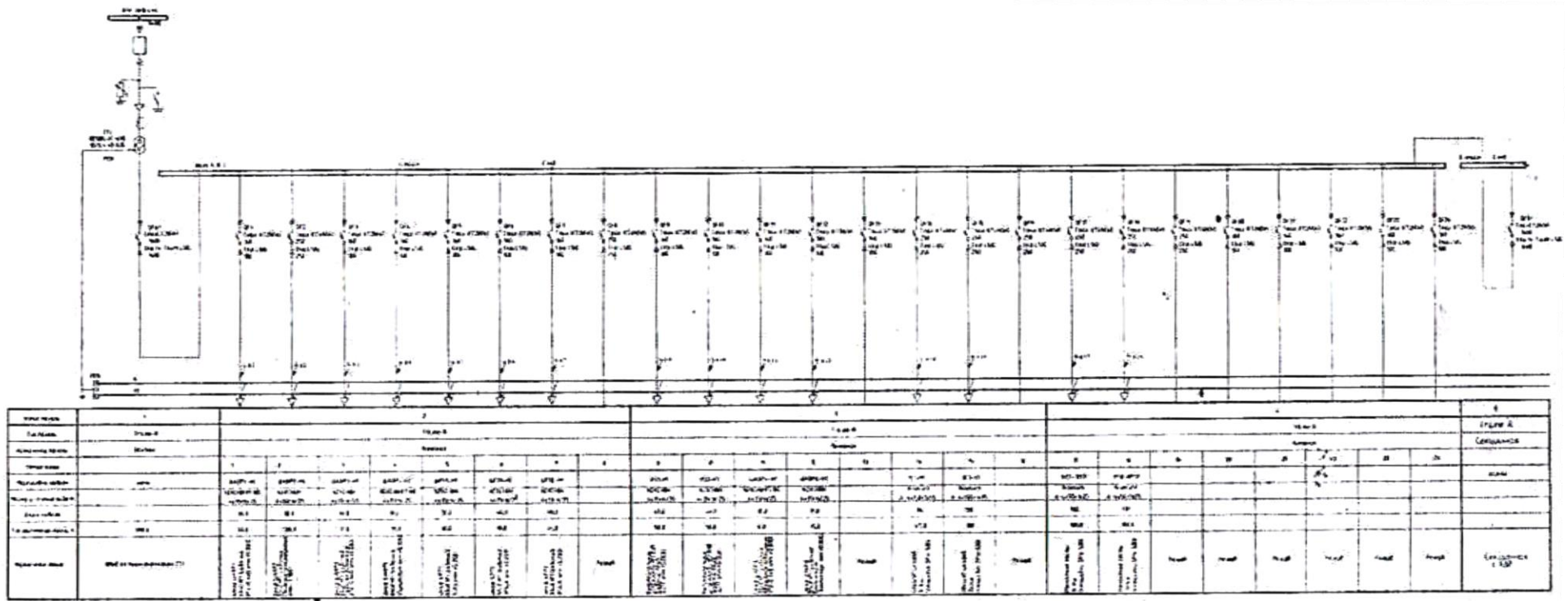


Рисунок 7 – Схема для расчета тока короткого замыкания распределительного устройства 0,4 кВ

«Формула для расчета токов короткого замыкания через переходное сопротивление выглядит следующим образом:

$$I_{кз} = \frac{\sqrt{3} \cdot E}{(2x_1 + x_0)^2 + (2r_1 + r_0 + r_{пер})^2}.$$

где, переходное сопротивление $r_{пер}$ равно 0,01 Ом.

Расчет тока КЗ для точки 1. При расчете точек короткого замыкания формула не меняется, таким образом, расчет будет производиться для одной точки. Значения остальных точек КЗ будут приведены в таблице 5» [10].

$$I_{кз} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{(2 \cdot 0,0172 + 0,015)^2 + (2 \cdot 0,0029 + 0,0029 + 0,01)^2} = 13038,399 \text{ А}.$$

Таблица 5 – Расчетные значения токов к.з. в конце кабельных линий к потребителям 2 секции

№ автомата	Наименование присоединения	Питание от ввода 1		Питание от ввода 2		№ автомата	Наименование присоединения	Питание от ввода 1		Питание от ввода 2	
		$I_{кз.3}, А$	$I_{кз.1}, А$	$I_{кз.3}, А$	$I_{кз.1}, А$			$I_{кз.3}, А$	$I_{кз.1}, А$	$I_{кз.3}, А$	$I_{кз.1}, А$
QF1	Шкаф ШАВР 1. (РУ-0,4 кВ). Ввод №1 (рабочий)	8642	8048	8635	8144	QF31	Ремонтные посты 1с. 2 с.ш. (площадка ОРУ-500)	5373	5075	5369	5076
QF2	Шкаф ШАВР 2. (Насосная пожаротушения) Ввод №1 (рабочий)	9708	9090	9699	9098	QF32	Ремонтные посты 2с. 2 с.ш. (площадка ОРУ-500)	3395	3259	3394	3259
QF3	Шкаф ШАВР 3. Рабочее освещение. (РУ-0,4 кВ). Ввод №1 (рабочий)	8642	8148	8635	8144	QF34	Обогрев шкафов 1с. 2 с.ш. (площадка ОРУ-500)	8620	8209	8610	8205
QF4	Шкаф ШАВР 5. (Пультовая). Ввод №1 (рабочий)	8014	7460	8018	7564	QF35	Обогрев шкафов 2с. 2 с.ш. (площадка ОРУ-500)	7918	7538	7910	7533
QF5	Шкаф ШРП 1. (САУ). Ввод №1 (рабочий)	8640	8148	8636	8144	QF36	Шкаф МШС. (РУ-0,4кВ).	10959	10460	10950	10450
QF6	Шкаф ШГП 1. (РЗиА). Ввод №1 (рабочий)	5745	5411	5749	5410	QF37	Шкаф ШАВР 6. Вентиляция. (Венткамера). Ввод №2 (резервный)	7456	6958	7448	6949

Продолжение таблицы 5

QF7	Шкаф ШГП 2. (РЗиА). Ввод	5745	5411	5718	5410	QF38	Шкаф ШАВР 4.	8018	7478	8018	7463
-----	--------------------------	------	------	------	------	------	--------------	------	------	------	------

	№1 (рабочий)						Аварийное освещение. (РУ- 0,4кВ). Ввод №2 (резервный)				
QF9	Выпрямительное устройство №1 (ЩПТ). Рабочий ввод	6959	6415	6956	6490	QF39	Выпрямительное устройство №2 ВУ2. Резерв	6959	6465	6956	6495
QF10	Выпрямительное устройство №2 (ЩПТ). Рабочий ввод	7456	6964	7457	6959	QF40	Выпрямительное устройство №1 ВУ1. Резерв	6507	6099	6509	6089
QF11	Шкаф ШАВР 4. Аварийное освещение. (РУ-0,4кВ). Ввод №1 (рабочий)	8647	8058	8652	8144	QF42	Шкаф ШГП2. (Р3иА). Ввод №2 (резервный)	5428	5119	5517	5106
QF12	Шкаф ШАВР 6. Вентиляция. (Венткамера). Ввод №1 (рабочий)	8024	7456	8016	7495	QF43	Шкаф ШГП1. (Р3иА). Ввод №2 (резервный)	5428	5119	5517	5108
QF14	Обогрев шкафов 1с. 1 с.ш. (площадка ОРУ-500)	8266	7869	8258	7859	QF44	Шкаф ШРП1. (САУ). Ввод №2 (резервный)	8019	7478	8018	7465
QF15	Обогрев шкафов 2с. 1 с.ш. (площадка ОРУ-500)	7317	6967	7300	6955	QF45	Шкаф ШАВР5. (Пультная). Ввод №2 (резервный)	7463	6964	7457	6949
QF17	Ремонтные посты 1с. 1 с.ш. (площадка ОРУ-500)	4979	4719	4977	4716	QF46	Шкаф ШАВР3. Рабочее освещение. (РУ-0,4 кВ). Ввод №2 (резервный)	8018	7469	8009	7475
QF18	Ремонтные посты 1с. 2 с.ш. (площадка ОРУ-500)	4049	3868	4050	3865	QF47	Шкаф ШАВР2. (Насосная пожаротушения) Ввод №2 (резервный)	9176	8589	9174	8582

2.3 Выбор схемы щита постоянного тока

«С целью повышения надежности электроснабжения потребителей постоянного оперативного тока, их разделяют на группы (сети релейной защиты, автоматики и управления; сети сигнализации; сети питания электромагнитов выключателей и т.д.). К каждой группе потребителей подключается как минимум двумя источниками питания, взаимно резервируемыми и обязательно от разных секций щита постоянного тока.

В целях дублирования линий электроснабжения потребителей щита постоянного тока, использовано разделение системы шин на две секции секционным автоматом.

Приводим одну секционированную систему шин (рисунок 8)» [10].

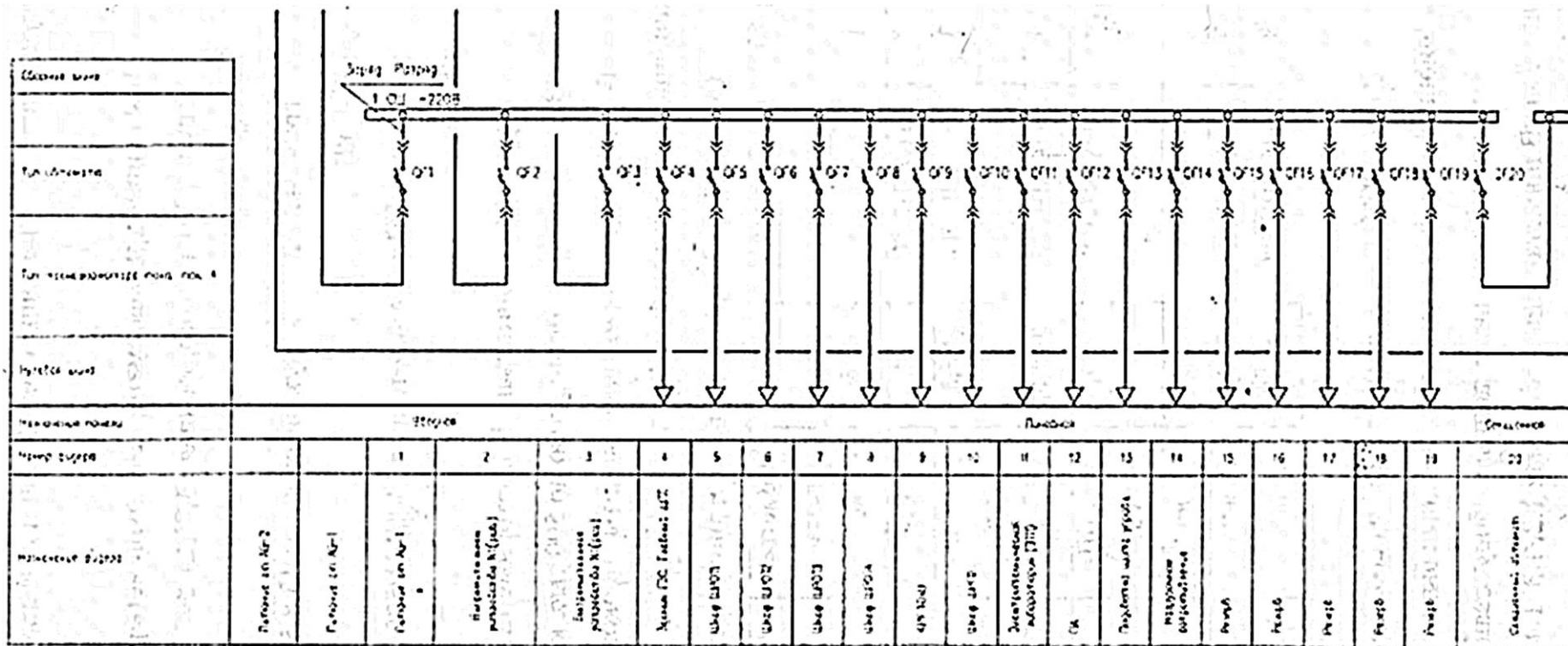


Рисунок 8 – Схема ЩПТ

2.4 Расчет токов КЗ щита постоянного тока ППУ – 500

«В связи с тем, что секции, отходящих от щита постоянного тока, нагрузки и характеристики потребителей 2 секции идентичны, вычисления токов КЗ производим для 1 секции ЩПТ (рисунок 9).

2.4.1 Для расчета сопротивления элементов сети с постоянным током определяем внутреннее сопротивление АКБ.

В сети постоянного тока применены промышленные высокомоощные АКБ типа 8GroE200.

Сопротивление одной батареи, которое известно из паспорта на АКБ и равно 0,475мОм, отсюда:

$$R_{AB} = R_{эл} \cdot n = 0,000475 \cdot 104 = 0,0494 \text{ Ом}.$$

2.4.2 Определяем сопротивление медной шины АКБ:

$$R_{ш} = \frac{\rho \cdot L}{S};$$

где: L – длина медной шины, соединяющая АКБ;

ρ – постоянная величина, характеризующая удельное сопротивление меди;

S – площадь сечения медной шины. Диаметр самой шины равен 13 мм. Формула площади $S = \frac{\pi d^2}{4}$;

$$R_{ш} = \frac{0,0172 \cdot 20}{(\pi \cdot 13^2 / 4)} = 0,0026 \text{ Ом}.$$

2.4.3 Выбираем автоматический выключатель Т4N250.

2.4.4 Определение сопротивлений кабельных связей:

– сопротивление АКБ;

– в щите постоянного тока применяются АКБ типа: 8GroE200, при этом $R_{AB} = 0,0494 \text{ Ом}$, а $R_{ш} = 0,0026 \text{ Ом}$ » [5].

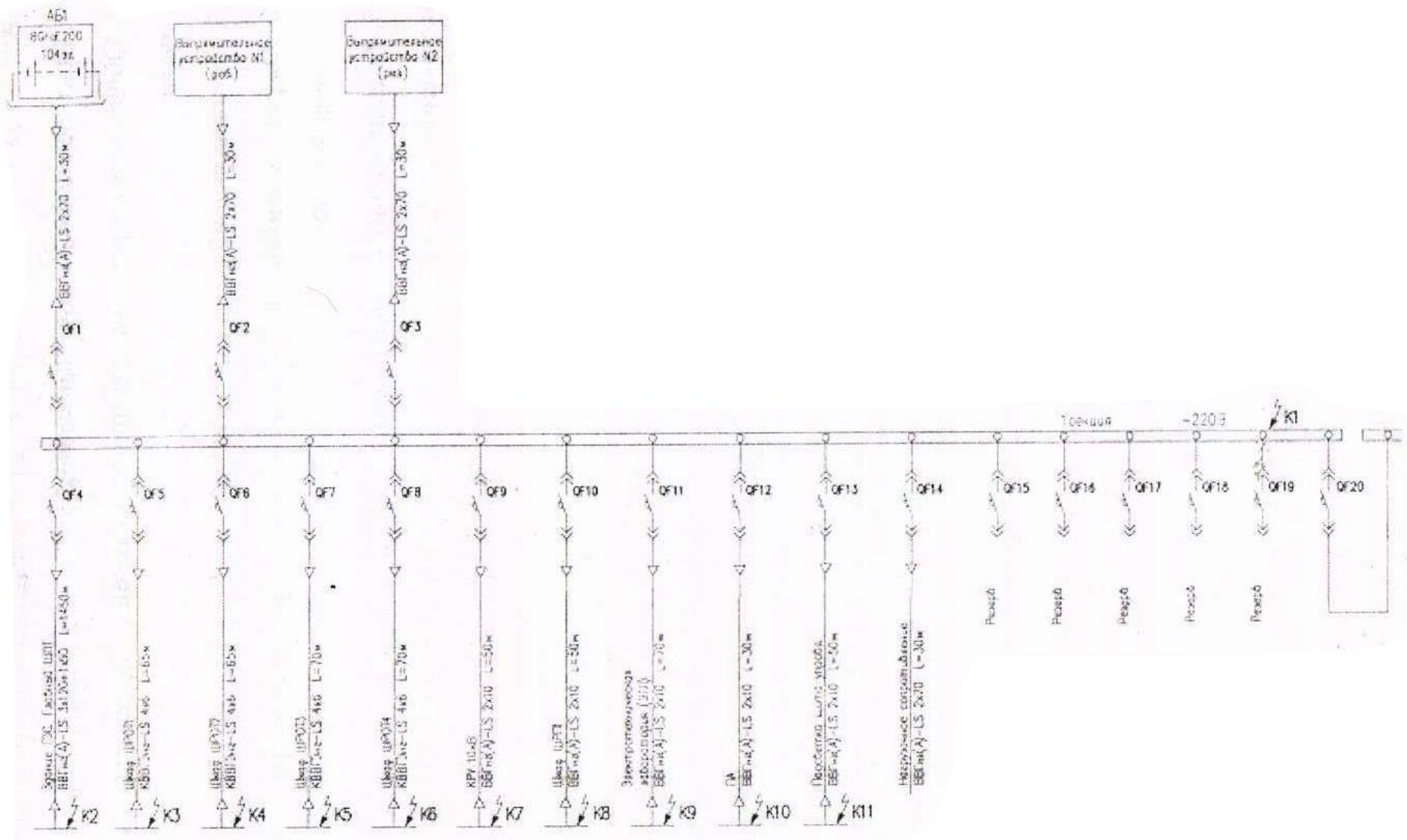


Рисунок 9 – ЩИТ

2.4.5 Определение тока КЗ в точке К1 (рисунок 10):

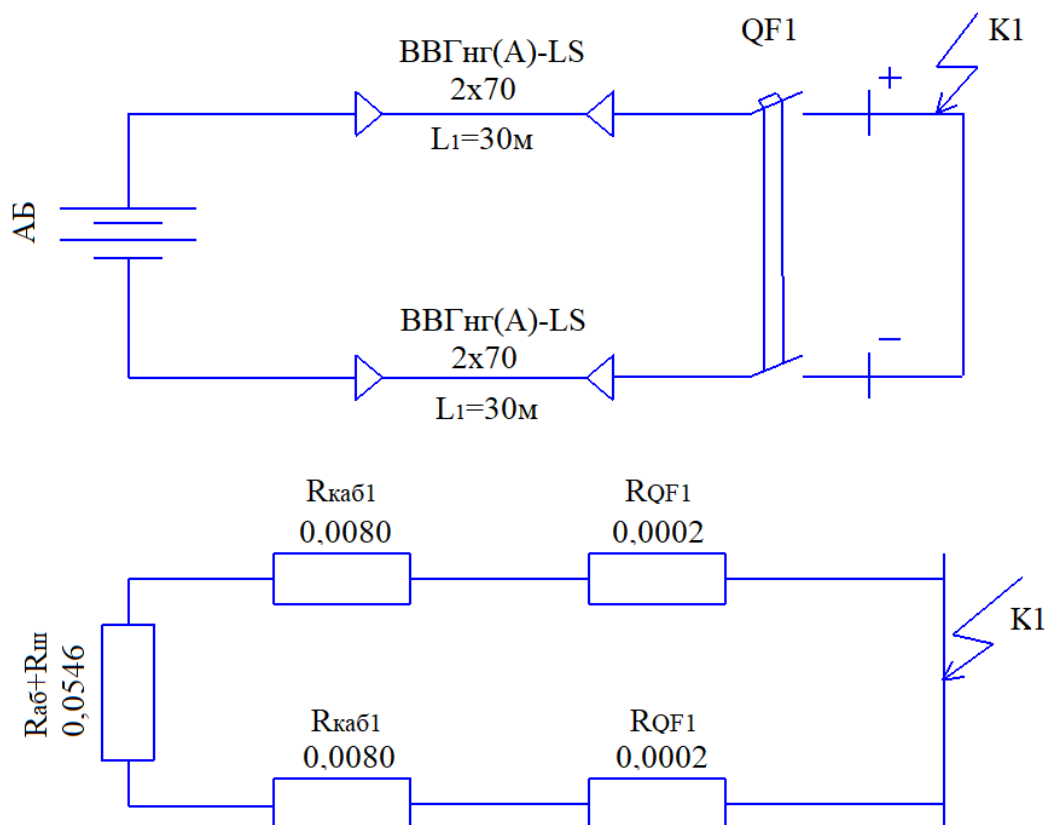


Рисунок 10 – Схема замещения для точки К1

Определение сопротивления электрической цепи к току КЗ:

$$R_{K3} = R_{AB} + R_{ш} + (R_{КАБ.1} + R_{QF1}) \cdot 2;$$

$$R_{K3} = 0,0494 + 0,0026 + (0,0080 + 0,0002) \cdot 2 = 0,0685 \text{ Ом.}$$

Определяем граничное сопротивление АКБ:

$$R_{ГР} = 7,5 \cdot \frac{n}{N};$$

$$N \geq 1,1 \cdot \frac{Q_{РАСЧ}}{Q_{N=1}};$$

где 1,1 – постоянная, учитывающая снижения энергии АКБ;

Энергия аккумуляторной батареи после часового разряда составляет 18,515 А · ч;

$$Q_{РАСЧ} = 523 \text{ А} \cdot \text{ч};$$

$$N \geq 1,1 \cdot \frac{523}{18,515} = 31;$$

$$N=33;$$

$$R_{ГР} = 7,5 \cdot \frac{104}{33} = 0,024 \text{ Ом};$$

При $R_{КЗ} \geq R_{ГР}$ ($0,0685 \text{ Ом} > 0,024 \text{ Ом}$) расчетная электродвижущая сила одной банки $E_{РАСЧ} = 1,93 \text{ В}$.

Определяем ток металлического короткого замыкания:

$$I_{КЗ.М} = E_{РАСЧ} \cdot \frac{n}{R_{КЗ}};$$

$$I_{КЗ.М} = 1,93 \cdot \frac{104}{0,0684} = 2936 \text{ А};$$

Определение тока КЗ с учетом сопротивления электрической дуги:

$$I_{КЗ.Д} = I_{КЗ.М} \cdot K_c;$$

где K_c – это коэффициент снижения тока короткого замыкания

$$K_c = f(R_{КЗ}).$$

Для $R_{КЗ} = 0,0685 \text{ Ом}$; $K_c = 0,50$;

$$I_{КЗ.Д} = 2936 \cdot 0,50 = 1467 \text{ А};$$

2.4.6 Определение тока КЗ в точке К2 (рисунок 11):

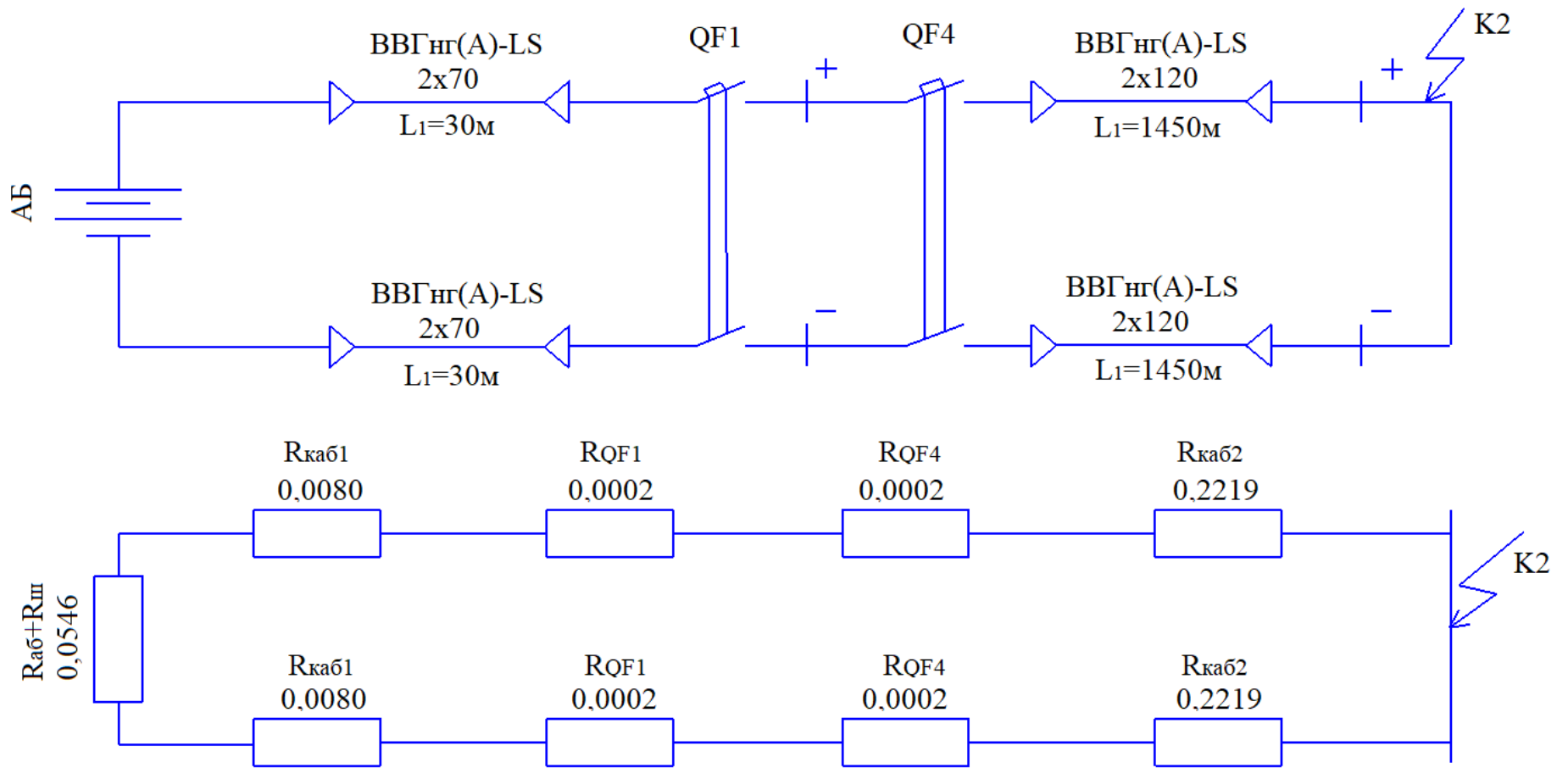


Рисунок 11 – Схема замещения для точки K2

«Определение сопротивления электрической цепи к току КЗ:

$$R_{K3} = R_{AB} + R_{Ш} + (R_{КАБ.1} + R_{QF1} + R_{QF2} + R_{КАБ.2}) \cdot 2;$$

$$R_{K3} = 0,0494 + 0,0026 + (0,0080 + 0,0002 + 0,0002 + 0,2219) \cdot 2 = 0,5125 \text{ Ом};$$

При определении расчетной электродвижущей силы одной банки учитываем, что сопротивление электрической цепи току короткого замыкания должно быть больше или равно граничному сопротивлению аккумуляторной батареи: $R_{K3} \geq R_{ГР}$ ($0,5125 \text{ Ом} > 0,024 \text{ Ом}$) расчетная электродвижущая сила одной банки $E_{РАСЧ} = 1,93 \text{ В}$ » [5].

Определение тока металлического короткого замыкания:

$$I_{K3.M} = E_{РАСЧ} \cdot \frac{n}{R_{K3}};$$

$$I_{K3.M} = 1,93 \cdot \frac{104}{0,5126} = 392 \text{ А};$$

Определение тока КЗ с учетом сопротивления электрической дуги:

$$I_{K3.Д} = I_{K3.M} \cdot K_c;$$

где K_c – это коэффициент снижения тока короткого замыкания
 $K_c = f(R_{K3})$.

Для $R_{K3} = 0,5126 \text{ Ом}$; $K_c = 0,50$;

$$I_{K3.Д} = 392 \cdot 0,50 = 219 \text{ А};$$

2.4.7 Определение тока КЗ в точке КЗ (рисунок 12):

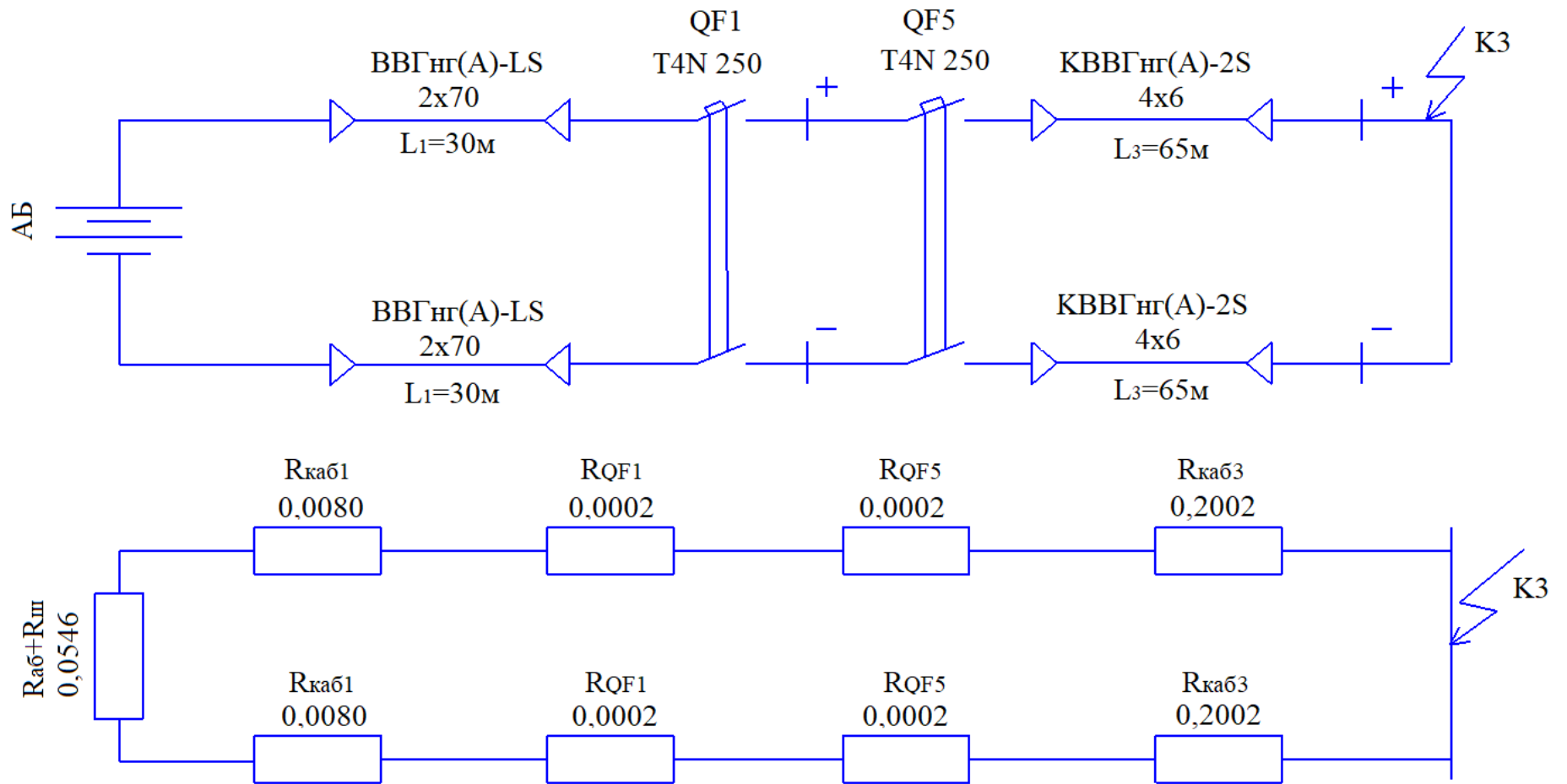


Рисунок 12 – Схема замещения для точки К3

«Определение сопротивления электрической цепи к току КЗ:

$$R_{KЗ} = R_{AB} + R_{Ш} + (R_{КАБ.1} + R_{QF1} + R_{QF3} + R_{КАБ.3}) \cdot 2;$$

$$R_{KЗ} = 0,0494 + 0,0026 + (0,0080 + 0,0002 + 0,0002 + 0,2002) \cdot 2 = 0,4692 \text{ Ом};$$

Определение расчетной электродвижущей силы одной банки учитываем, что сопротивление электрической цепи току короткого замыкания должно быть больше или равно граничному сопротивлению аккумуляторной батареи: $R_{KЗ} \geq R_{ГР}$ ($0,4692 \text{ Ом} > 0,024 \text{ Ом}$) расчетная электродвижущая сила одной банки $E_{РАСЧ} = 1,93 \text{ В}$ » [5].

Определение тока металлического короткого замыкания:

$$I_{KЗ.М} = E_{РАСЧ} \cdot \frac{n}{R_{KЗ}};$$

$$I_{KЗ.М} = 1,93 \cdot \frac{104}{0,4692} = 428 \text{ А};$$

Определение тока КЗ с учетом сопротивления электрической дуги

$$I_{KЗ.Д} = I_{KЗ.М} \cdot K_c;$$

где K_c – это коэффициент снижения тока короткого замыкания

$$K_c = f(R_{KЗ}).$$

Для $R_{KЗ} = 0,4692 \text{ Ом}$; $K_c = 0,49$;

$$I_{KЗ.Д} = 428 \cdot 0,49 = 210 \text{ А};$$

2.4.8 Определение тока КЗ в точке К4 (рисунок 13):

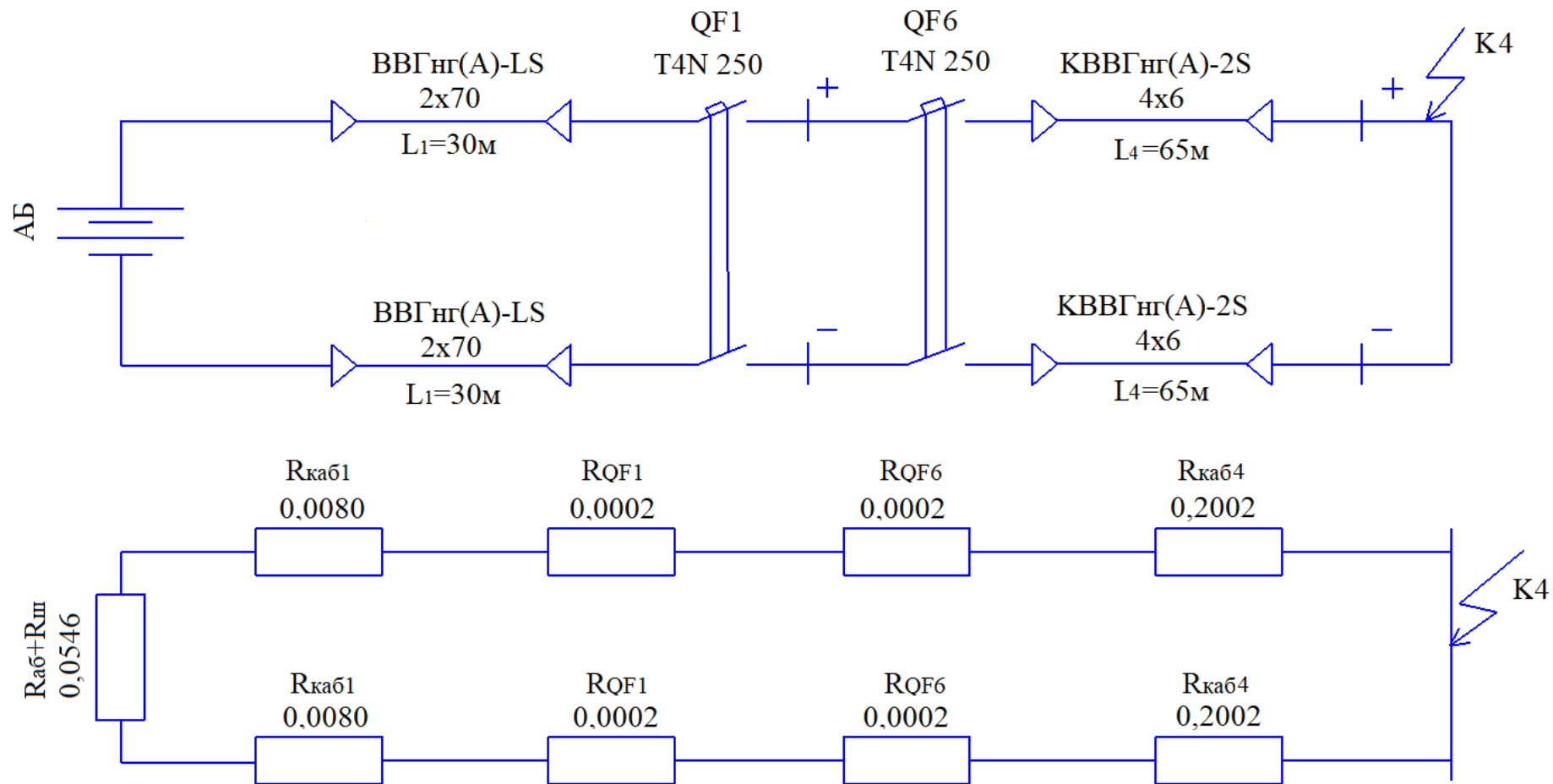


Рисунок 13 - Схема замещения для точки K4

«Определение сопротивления электрической цепи к току КЗ:

$$R_{K3} = R_{AB} + R_{III} + (R_{KAB.1} + R_{QF1} + R_{QF4} + R_{KAB.4}) \cdot 2;$$

$$R_{K3} = 0,0494 + 0,0026 + (0,0080 + 0,0002 + 0,0002 + 0,2002) \cdot 2 = 0,4692 \text{ Ом};$$

Определение расчетной электродвижущей силы одной банки учитываем, что сопротивление электрической цепи току короткого замыкания должно быть больше или равно граничному сопротивлению аккумуляторной батареи: $R_{K3} \geq R_{ГР}$ ($0,4692 \text{ Ом} > 0,024 \text{ Ом}$) расчетная электродвижущая сила одной банки $E_{РАСЧ} = 1,93 \text{ В}$ » [5].

Определение тока металлического короткого замыкания:

$$I_{K3.M} = E_{РАСЧ} \cdot \frac{n}{R_{K3}};$$

$$I_{K3.M} = 1,93 \cdot \frac{104}{0,4692} = 428 \text{ А};$$

Определение тока КЗ с учетом сопротивления электрической дуги:

$$I_{K3.Д} = I_{K3.M} \cdot K_c;$$

где K_c – это коэффициент снижения тока короткого замыкания

$$K_c = f(R_{K3}).$$

Для $R_{K3} = 0,4692 \text{ Ом}$; $K_c = 0,49$;

$$I_{K3.Д} = 428 \cdot 0,49 = 210 \text{ А};$$

2.4.9 Определение тока КЗ в точке К5 (рисунок 14):

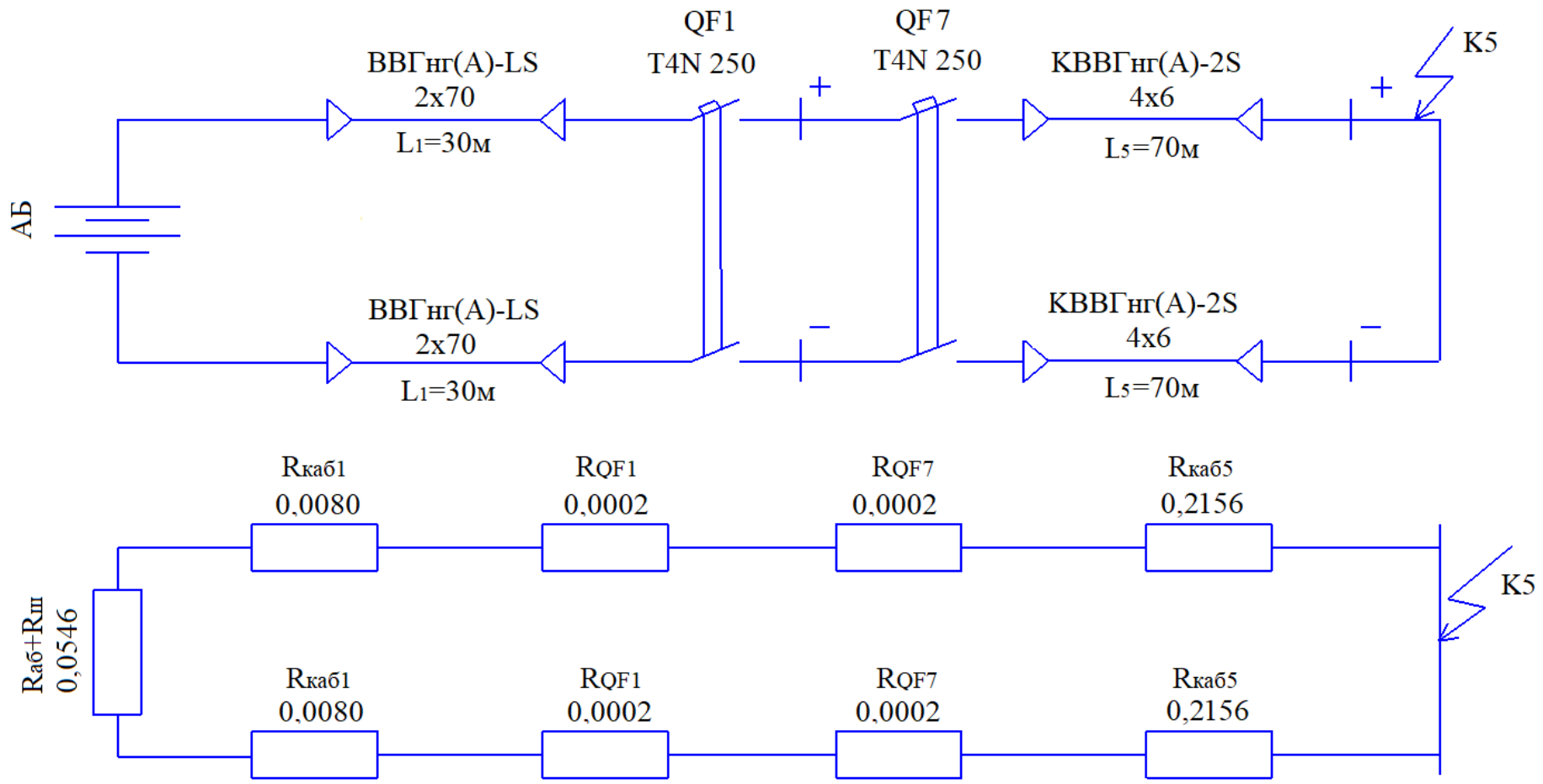


Рисунок 14 - Схема замещения для точки K5

«Определение сопротивления электрической цепи к току КЗ:

$$R_{K3} = R_{AB} + R_{Ш} + (R_{КАБ.1} + R_{QF1} + R_{QF5} + R_{КАБ.5}) \cdot 2;$$

$$R_{K3} = 0,0494 + 0,0026 + (0,0080 + 0,0002 + 0,0002 + 0,2156) \cdot 2 = 0,5000 \text{ Ом};$$

Определение расчетной электродвижущей силы одной банки учитываем, что сопротивление электрической цепи току короткого замыкания должно быть больше или равно граничному сопротивлению аккумуляторной батареи: $R_{K3} \geq R_{ГР}$ ($0,5000 \text{ Ом} > 0,024 \text{ Ом}$) расчетная электродвижущая сила одной банки $E_{РАСЧ} = 1,93 \text{ В}$ » [5].

Определение тока металлического короткого замыкания:

$$I_{K3.M} = E_{РАСЧ} \cdot \frac{n}{R_{K3}};$$

$$I_{K3.M} = 1,93 \cdot \frac{104}{0,5000} = 401 \text{ А};$$

Определение тока КЗ с учетом сопротивления электрической дуги:

$$I_{K3.Д} = I_{K3.M} \cdot K_c;$$

где K_c – это коэффициент снижения тока короткого замыкания

$$K_c = f(R_{K3}).$$

Для $R_{K3} = 0,5000 \text{ Ом}$; $K_c = 0,56$;

$$I_{K3.Д} = 401 \cdot 0,56 = 225 \text{ А};$$

2.4.10 Определение тока КЗ в точке К6 (рисунок 15):

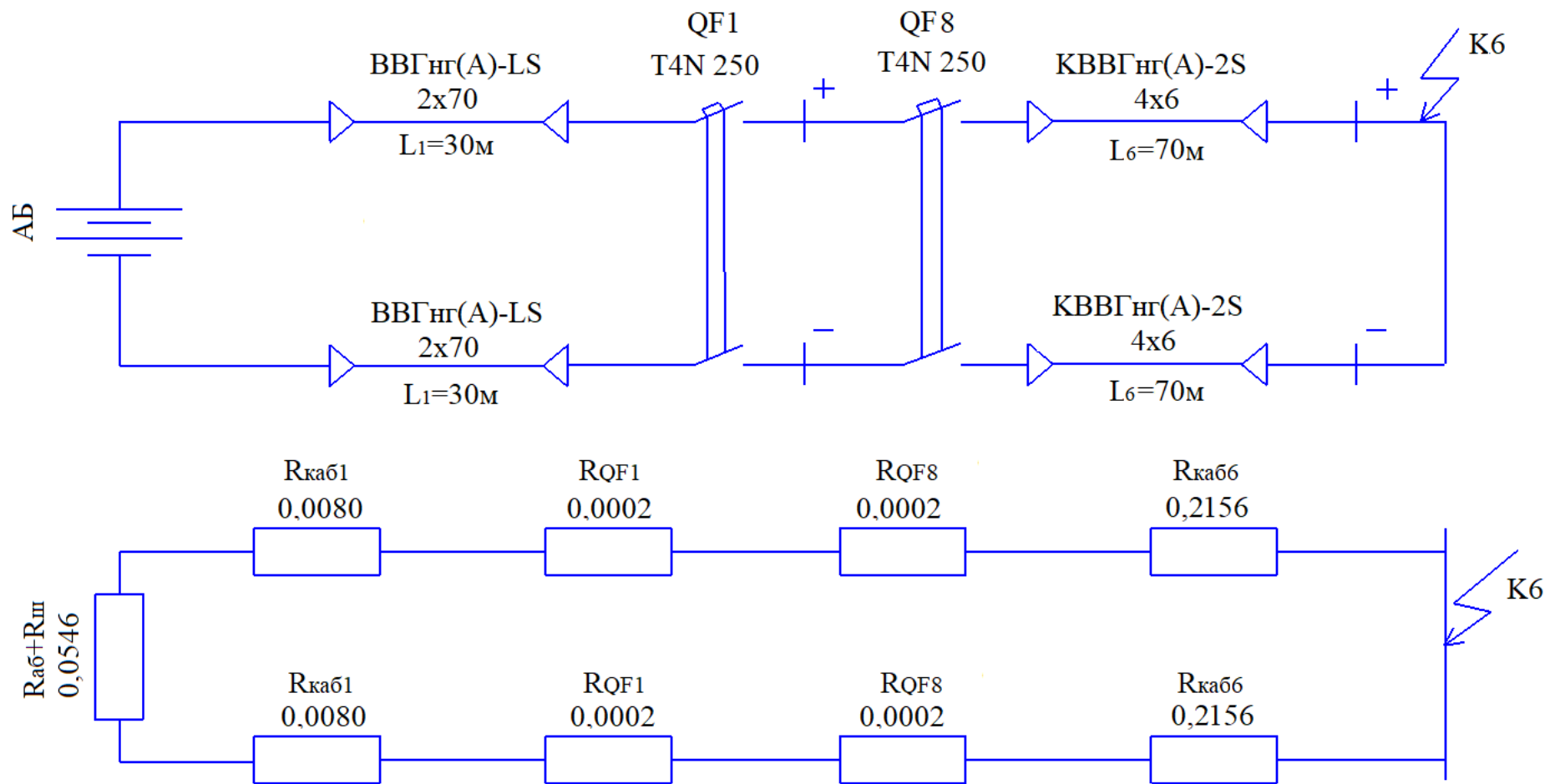


Рисунок 15 - Схема замещения для точки К6

«Определение сопротивления электрической цепи к току КЗ:

$$R_{K3} = R_{AB} + R_{III} + (R_{KAB.1} + R_{QF1} + R_{QF6} + R_{KAB.6}) \cdot 2;$$

$$R_{K3} = 0,0494 + 0,0026 + (0,0080 + 0,0002 + 0,0002 + 0,2156) \cdot 2 = 0,5000 \text{ Ом};$$

Определение расчетной электродвижущей силы одной банки учитываем, что сопротивление электрической цепи току короткого замыкания должно быть больше или равно граничному сопротивлению аккумуляторной батареи: $R_{K3} \geq R_{ГР}$ ($0,5000 \text{ Ом} > 0,024 \text{ Ом}$) расчетная электродвижущая сила одной банки $E_{РАСЧ} = 1,93 \text{ В}$ » [5].

Определение тока металлического короткого замыкания:

$$I_{K3.M} = E_{РАСЧ} \cdot \frac{n}{R_{K3}};$$

$$I_{K3.M} = 1,93 \cdot \frac{104}{0,5000} = 401 \text{ А};$$

Определение тока КЗ с учетом сопротивления электрической дуги:

$$I_{K3.Д} = I_{K3.M} \cdot K_c;$$

где K_c – это коэффициент снижения тока короткого замыкания

$$K_c = f(R_{K3}).$$

Для $R_{K3} = 0,5000 \text{ Ом}$; $K_c = 0,56$;

$$I_{K3.Д} = 401 \cdot 0,56 = 225 \text{ А};$$

2.4.11 Определение тока КЗ в точке К7 (рисунок 16):

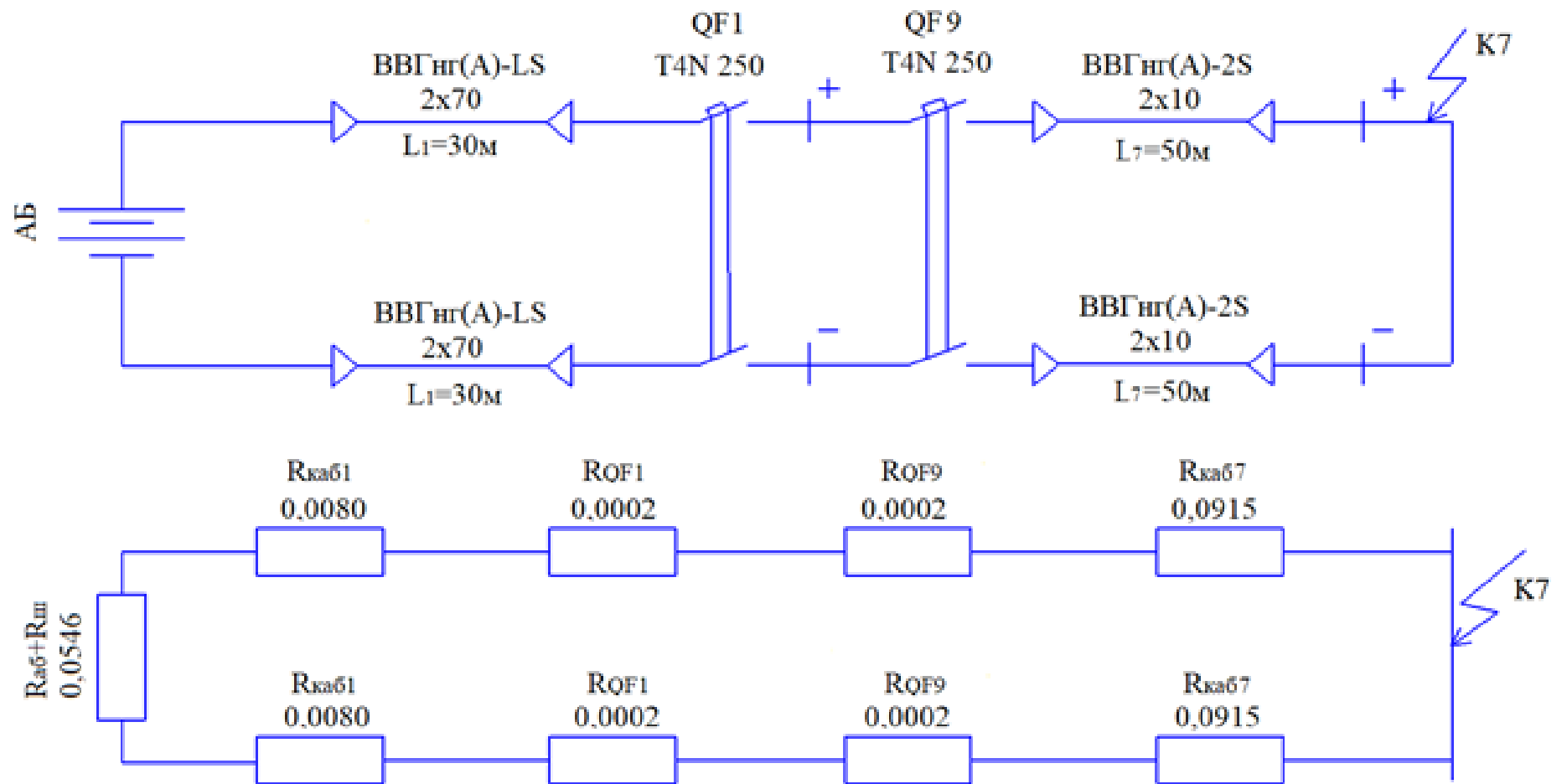


Рисунок 16 - Схема замещения для точки K7

«Определение сопротивления электрической цепи к току КЗ:

$$P_{KЗ} = R_{AB} + R_{Ш} + (R_{КАБ.1} + R_{QF1} + R_{QF7} + R_{КАБ.7}) \cdot 2;$$

$$P_{KЗ} = 0,0494 + 0,0026 + (0,0080 + 0,0002 + 0,0002 + 0,0915) \cdot 2 = 0,2518 \text{ Ом};$$

Определение расчетной электродвижущей силы одной банки учитываем, что сопротивление электрической цепи току короткого замыкания должно быть больше или равно граничному сопротивлению аккумуляторной батареи: $R_{KЗ} \geq R_{ГР}$ ($0,2518 \text{ Ом} > 0,024 \text{ Ом}$) расчетная электродвижущая сила одной банки $E_{РАСЧ} = 1,93 \text{ В}$ » [5].

Определение тока металлического короткого замыкания:

$$I_{KЗ.М} = E_{РАСЧ} \cdot \frac{n}{R_{KЗ}};$$

$$I_{KЗ.М} = 1,93 \cdot \frac{104}{0,2518} = 797 \text{ А};$$

Определение тока КЗ с учетом сопротивления электрической дуги:

$$I_{KЗ.Д} = I_{KЗ.М} \cdot K_c;$$

где K_c – это коэффициент снижения тока короткого замыкания

$$K_c = f(R_{KЗ}).$$

Для $R_{KЗ} = 0,2518 \text{ Ом}$; $K_c = 0,55$;

$$I_{KЗ.Д} = 797 \cdot 0,55 = 438 \text{ А};$$

2.4.12 Определение тока КЗ в точке К8 (рисунок 17):

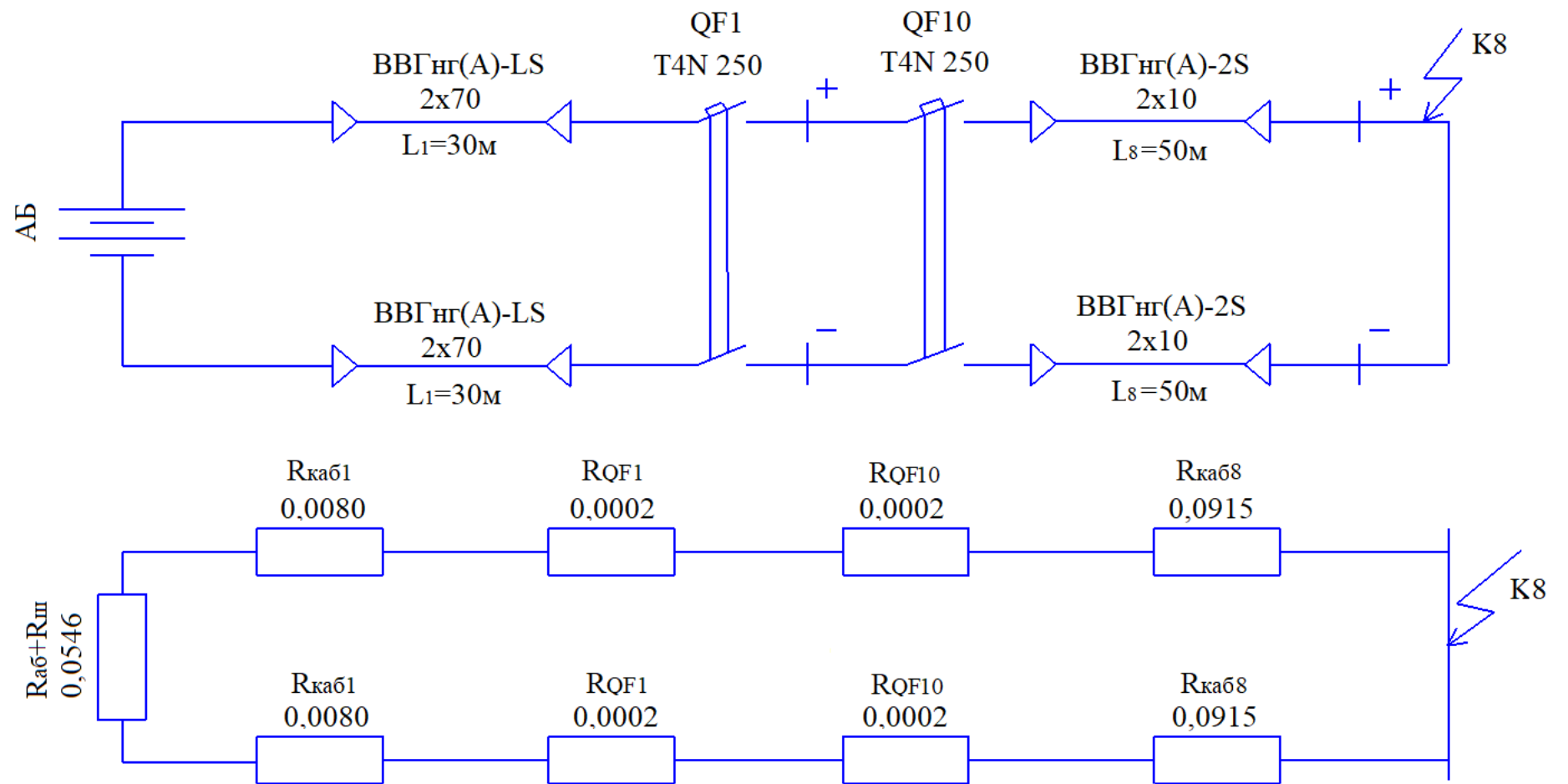


Рисунок 17 - Схема замещения для точки К8

«Определение сопротивления электрической цепи к току КЗ:

$$R_{K3} = R_{AB} + R_{Ш} + (R_{КАБ.1} + R_{QF1} + R_{QF8} + R_{КАБ.8}) \cdot 2;$$

$$R_{K3} = 0,0494 + 0,0026 + (0,0080 + 0,0002 + 0,0002 + 0,0915) \cdot 2 = 0,2518 \text{ Ом};$$

Определение расчетной электродвижущей силы одной банки учитываем, что сопротивление электрической цепи току короткого замыкания должно быть больше или равно граничному сопротивлению аккумуляторной батареи: $R_{K3} \geq R_{ГР}$ ($0,2518 \text{ Ом} > 0,024 \text{ Ом}$) расчетная электродвижущая сила одной банки $E_{РАСЧ} = 1,93 \text{ В}$ » [5].

Определение тока металлического короткого замыкания:

$$I_{K3.M} = E_{РАСЧ} \cdot \frac{n}{R_{K3}};$$

$$I_{K3.M} = 1,93 \cdot \frac{104}{0,2518} = 797 \text{ А};$$

Определение тока КЗ с учетом сопротивления электрической дуги:

$$I_{K3.Д} = I_{K3.M} \cdot K_c;$$

где: K_c – это коэффициент снижения тока короткого замыкания

$$K_c = f(R_{K3}).$$

Для $R_{K3} = 0,2518 \text{ Ом}$; $K_c = 0,55$;

$$I_{K3.Д} = 797 \cdot 0,55 = 438 \text{ А};$$

2.4.13 Определение тока КЗ в точке К9 (рисунок 18):

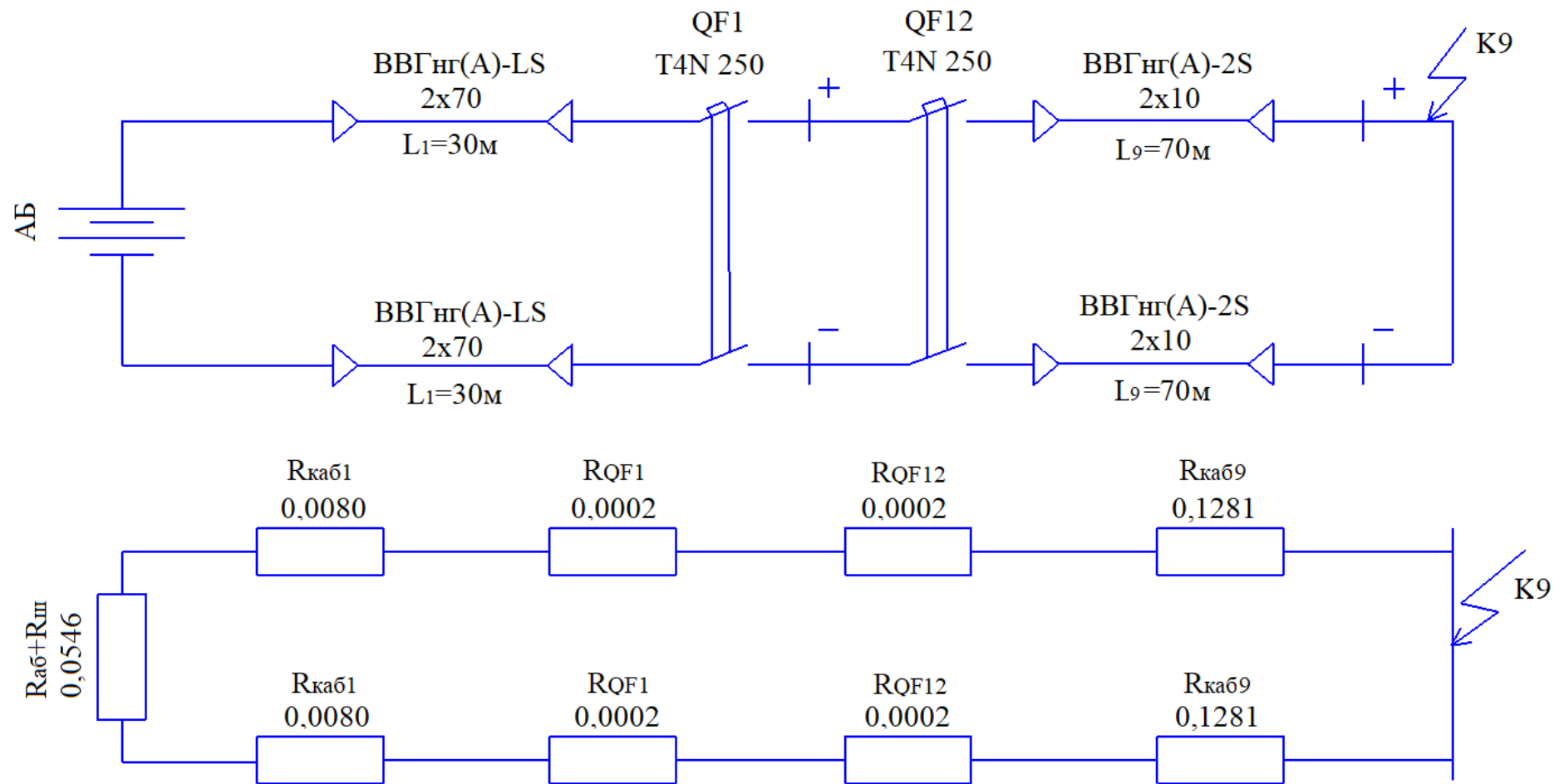


Рисунок 18 - Схема замещения для точки К9

«Определение сопротивления электрической цепи к току КЗ:

$$R_{K3} = R_{AB} + R_{Ш} + (R_{КАБ.1} + R_{QF1} + R_{QF9} + R_{КАБ.9}) \cdot 2;$$

$$R_{K3} = 0,0494 + 0,0026 + (0,0080 + 0,0002 + 0,0002 + 0,1281) \cdot 2 = 0,3250 \text{ Ом};$$

Определение расчетной электродвижущей силы одной банки учитываем, что сопротивление электрической цепи току короткого замыкания должно быть больше или равно граничному сопротивлению аккумуляторной батареи: $R_{K3} \geq R_{ГР}$ ($0,3250 \text{ Ом} > 0,024 \text{ Ом}$) расчетная электродвижущая сила одной банки $E_{РАСЧ} = 1,93 \text{ В}$ » [5].

Определение тока металлического короткого замыкания:

$$I_{K3.M} = E_{РАСЧ} \cdot \frac{n}{R_{K3}};$$

$$I_{K3.M} = 1,93 \cdot \frac{104}{0,3250} = 618 \text{ А};$$

Определение тока КЗ с учетом сопротивления электрической дуги:

$$I_{K3.Д} = I_{K3.M} \cdot K_c;$$

где K_c – это коэффициент снижения тока короткого замыкания

$$K_c = f(R_{K3}).$$

Для $R_{K3} = 0,3250 \text{ Ом}$; $K_c = 0,56$;

$$I_{K3.Д} = 618 \cdot 0,56 = 346 \text{ А};$$

2.4.14 Определение тока КЗ в точке К10 (рисунок 19):

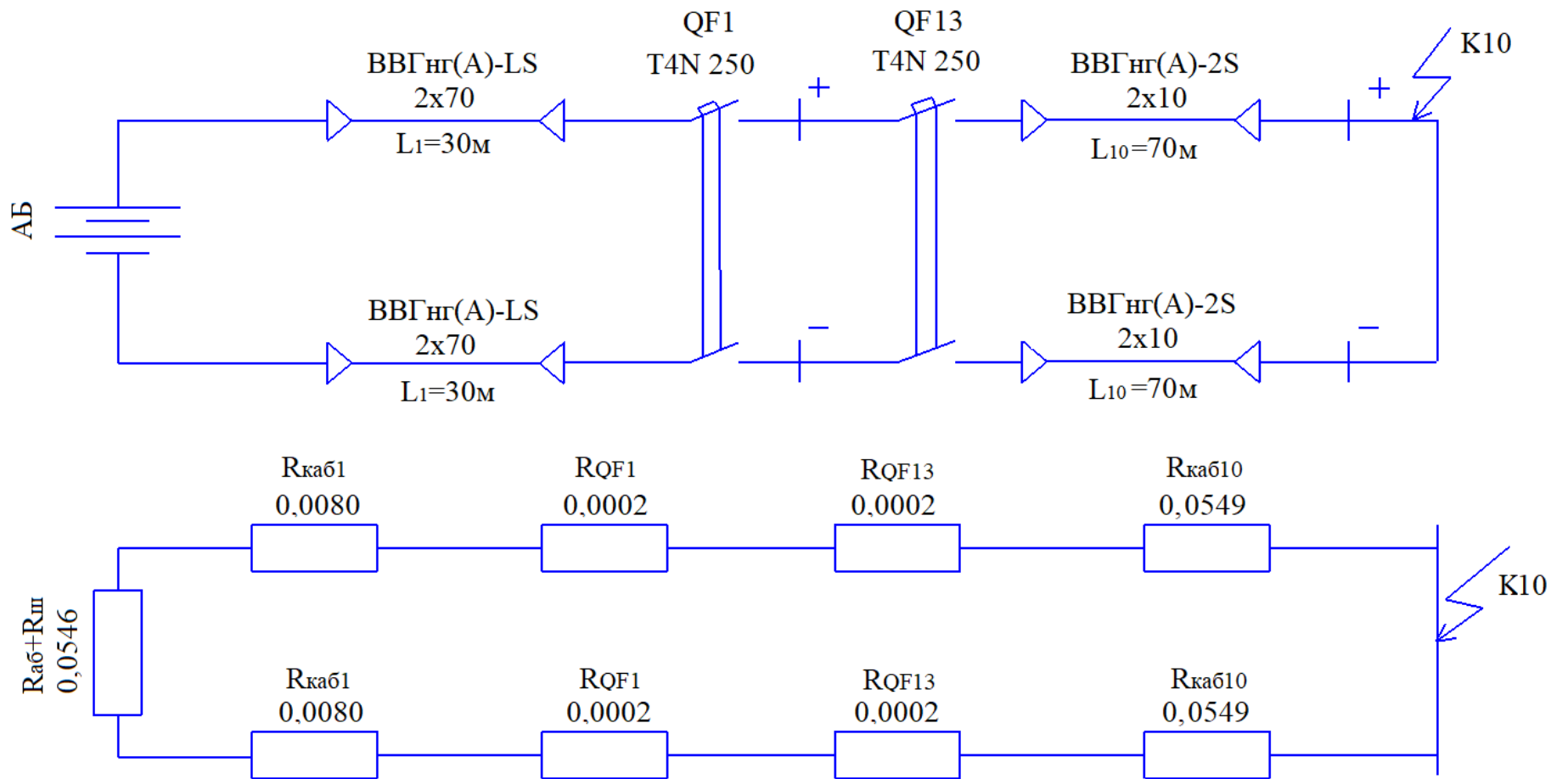


Рисунок 19 - Схема замещения для точки K10

«Определение сопротивления электрической цепи к току КЗ:

$$R_{KЗ} = R_{AB} + R_{Ш} + (R_{КАБ.1} + R_{QF1} + R_{QF10} + R_{КАБ.10}) \cdot 2;$$

$$R_{KЗ} = 0,0494 + 0,0026 + (0,0080 + 0,0002 + 0,0002 + 0,0549) \cdot 2 = 0,1786 \text{ Ом};$$

Определение расчетной электродвижущей силы одной банки учитываем, что сопротивление электрической цепи току короткого замыкания должно быть больше или равно граничному сопротивлению аккумуляторной батареи: $R_{KЗ} \geq R_{ГР}$ ($0,1786 \text{ Ом} > 0,024 \text{ Ом}$) расчетная электродвижущая сила одной банки $E_{РАСЧ} = 1,93 \text{ В}$ » [5].

Определение тока металлического короткого замыкания:

$$I_{KЗ.М} = E_{РАСЧ} \cdot \frac{n}{R_{KЗ}};$$

$$I_{KЗ.М} = 1,93 \cdot \frac{104}{0,1786} = 1124 \text{ А};$$

Определение тока КЗ с учетом сопротивления электрической дуги:

$$I_{KЗ.Д} = I_{KЗ.М} \cdot K_c;$$

где K_c – это коэффициент снижения тока короткого замыкания

$$K_c = f(R_{KЗ}).$$

Для $R_{KЗ} = 0,1786 \text{ Ом}$; $K_c = 0,53$;

$$I_{KЗ.Д} = 1124 \cdot 0,53 = 596 \text{ А};$$

2.4.15 Определение тока КЗ в точке К11 (рисунок 20):

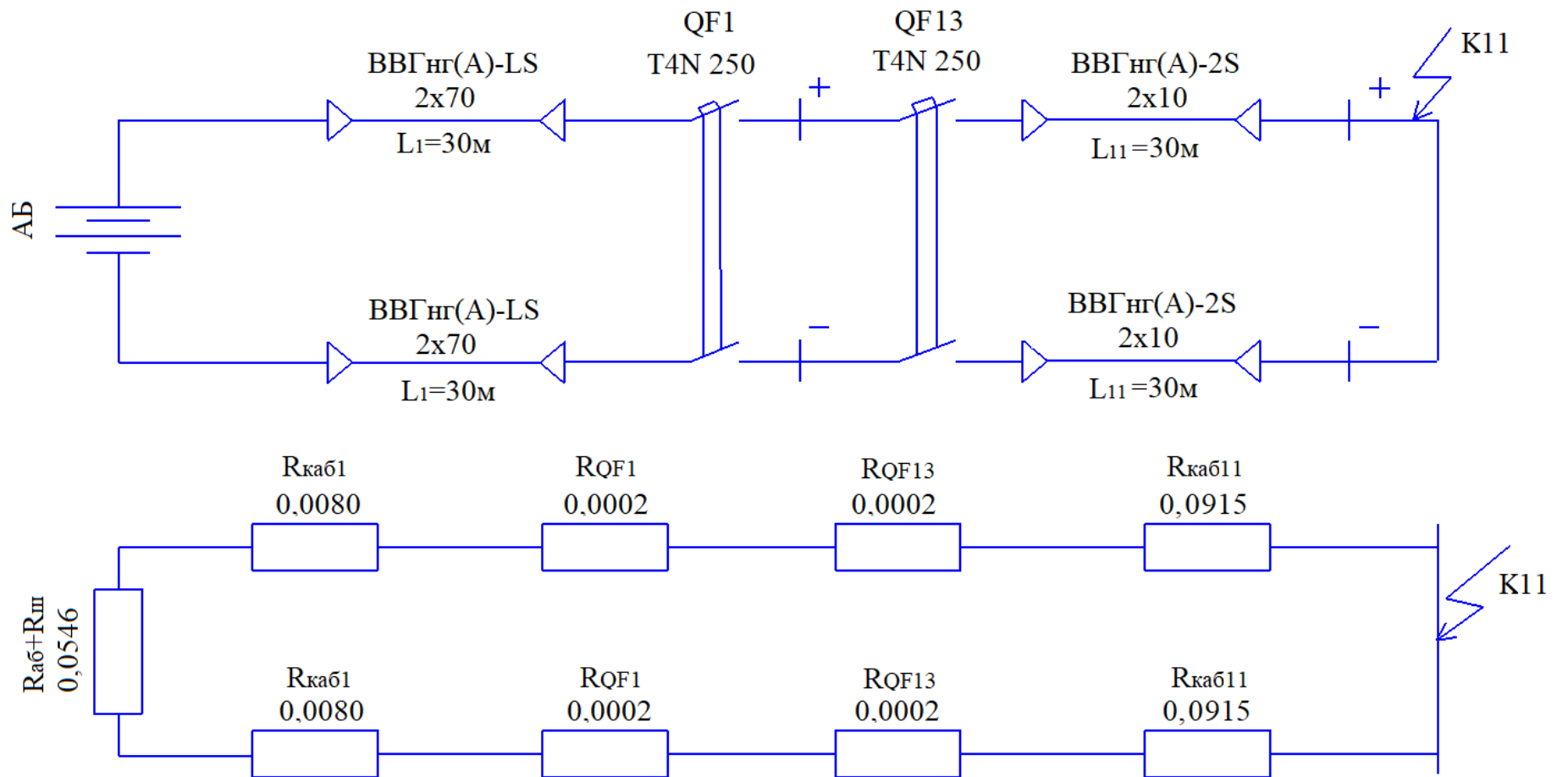


Рисунок 20 - Схема замещения для точки K11

«Определение сопротивления электрической цепи к току КЗ будем:

$$P_{K3} = R_{AB} + R_{Ш} + (R_{КАБ.1} + R_{QF1} + R_{QF11} + R_{КАБ.11}) \cdot 2;$$

$$P_{K3} = 0,0494 + 0,0026 + (0,0080 + 0,0002 + 0,0002 + 0,0915) \cdot 2 = 0,2518 \text{ Ом};$$

Определение расчетной электродвижущей силы одной банки учитываем, что сопротивление электрической цепи току короткого замыкания должно быть больше или равно граничному сопротивлению аккумуляторной батареи: $R_{K3} \geq R_{ГР}$ ($0,2518 \text{ Ом} > 0,024 \text{ Ом}$) расчетная электродвижущая сила одной банки $E_{РАСЧ} = 1,93 \text{ В}$ » [5].

Определение тока металлического короткого замыкания:

$$I_{K3.M} = E_{РАСЧ} \cdot \frac{n}{R_{K3}};$$

$$I_{K3.M} = 1,93 \cdot \frac{104}{0,2518} = 797 \text{ А};$$

Определение тока КЗ с учетом сопротивления электрической дуги:

$$I_{K3.Д} = I_{K3.M} \cdot K_c;$$

где K_c – это коэффициент снижения тока короткого замыкания

$$K_c = f(R_{K3}).$$

Для $R_{K3} = 0,2518 \text{ Ом}$; $K_c = 0,54$;

$$I_{K3.Д} = 797 \cdot 0,54 = 430 \text{ А}.$$

Расчет токов короткого замыкания к потребителям щита постоянного тока второй секции выполнен по аналогичной методике [4]. Расчетные значения токов КЗ представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Расчетные значения токов К.З. в конце кабельных линий к потребителям первой и второй секции

Обозначение автомата	Наименование присоединения	Точка КЗ	$I_{кз.м}, А$	$I_{кз.д}, А$	Обозначение автомата	Наименование присоединения	Точка КЗ	$I_{кз.м}, А$	$I_{кз.д}, А$
QF1	ЩПТ 1 секция	К1	2935	1467	QF37	ЩПТ 2 секция	К12	2935	1467
QF4	Здание ГЭС. Главный ЩПТ	К2	392	219	QF21	Здание ГЭС. Главный ЩПТ	К13	392	219
QF5	Шкаф ШРОТ1	К3	428	210	QF22	Шкаф ШРОТ1	К14	428	210
QF6	Шкаф ШРОТ2	К4	428	210	QF23	Шкаф ШРОТ2	К15	428	210
QF7	Шкаф ШРОТ3	К5	401	225	QF24	Шкаф ШРОТ3	К16	401	225
QF8	Шкаф ШРОТ4	К6	401	225	QF25	Шкаф ШРОТ4	К17	401	225
QF9	КРУ 10кВ	К7	797	438	QF26	КРУ 10кВ	К18	797	438
QF10	Шкаф ШРП1	К8	797	438	QF27	Шкаф ШРП2	К19	797	438
QF11	ЭТЛ	К9	618	346	QF28	ЭТЛ	К20	617	345
QF12	ПА	К10	1124	596	QF29	ПА	К21	1123	597
QF13	Подсветка щита управления	К11	797	430	QF30	Шкаф UZ	К22	797	430

Выводы по разделу

Диссертация содержит расчеты токов короткого замыкания в сетях переменного 3-х фазного тока 10 кВ, 0,4 кВ и в цепях постоянного тока ОРУ 500 кВ, что позволило грамотно выбрать электротехническое оборудование. Выбранное оборудование позволяет обеспечить достаточный резерв для подключения перспективных потребителей.

3 Проверка эффективности работы защит

1) Определение мощности ИБП:

Состав существующих потребителей, питаемых системой гарантированного питания с ИБП.

Проектом предусматривается организация питания потребителей первой категории от двух независимых источников бесперебойного питания. Выбор источника питания и расчетной нагрузки приводится с учетом аварийного режима работы схемы питания при выводе одного из ИБП в ремонт.

Мощность источника бесперебойного питания определяем исходя из потребности обеспечить достаточный резерв для подключения перспективных и дополнительных нагрузок. Принимаем мощность источников бесперебойного питания «BENNING ENERTRONIC I 3-3 20» – 20кВА.

Выбранная мощность ИБП позволяет питать нагрузки, с учетом коэффициента мощности системы $(20*0,8) = 16$ кВт.

Коэффициент загрузки ИБП равен:

$$K_n = \frac{P_{load}}{P_{расч}} \% = \frac{11}{16} = 70\%;$$

где P_{load} – номинальная активная мощность ИБП с учетом коэффициента мощности системы 0,8;

$P_{расч}$ – расчетная активная мощность электроприемников системы.

Нагрузка 5 кВт, для перспективно подключаемых электроприемников.

2) Определение мощности нагрузок:

Требуемая мощность нагрузок определяется из расчета существующих электроприемников и перспективно подключаемых (из полной мощности ИБП см. пункт 1).

Расчетная мощность нагрузки определена с учетом усреднённых коэффициентов спроса K_c , коэффициентов использования K_i , и коэффициентов мощности $\cos\phi$, электроприемников [15]. Установленная мощность электроприемников составляет 16 кВт.

Расчет ведется с учетом вывода одной из секций РШ в ремонт. Потребитель питается по одному вводу.

3) Выбор уставок аппаратов защит.

3.1) Проверка срабатывания ИБП от пусковых токов:

Выбор аппаратов защиты питающих линий проводил исходя из возможности подключения перспективных нагрузок [17].

Существующие потребители системы гарантированного питания преимущественно имеют на входе источники питания с высокими показателями пусковых токов в начальный момент времени $10I_n$ в течении 0,8 мс.

ИБП имеет перегрузочную способность 120% в течении 10 минут и 150% в течении 1 минуты:

Номинальный ток ИБП (с учетом КПД):

$$I_n = S / (\sqrt{3} * U_n) = 20000 * 1,2 / (\sqrt{3} * 400) = 34,6 \text{ А.}$$

Работа с перегрузкой 120% (10мин):

$$34,6 * 1,2 = 41,5 \text{ А.}$$

Работа с перегрузкой 150% (1 мин):

$$34,6 * 1,5 = 51,9 \text{ А.}$$

Работа в режиме ограничения тока при $2,33 I_n$ в течении 1 секунды, приведенному к среднеквадратичному действующему значению $\sqrt{2}$.

$$34,6 \cdot 1,65 = 57,9 \text{ А.}$$

Номинальный ток, потребляемый ИБП в режиме работы через байпас, при неравномерной загрузке фаз и условии загрузки ИБП на номинальную мощность, равен:

$$I_{n \text{ бп}} = P_{\text{ном}} \cdot 1,05 / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \phi) = 16000 \cdot 1,05 / \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8 = 30,35 \text{ А.}$$

Суммарный пусковой ток от существующих электроприемников $10I_n$ в течении 0,8 мс, по стороне 0,4кВ ИБП составляет 161 А.

Исходя из этого ИБП в режиме одновременного пуска нагрузок, будет работать в режиме ограничения тока в течении 0,8 мс. Поэтому потребители следует запускать последовательно.

3.2) Выбор аппаратов защиты:

В качестве аппаратов защиты питающих отходящих линий выбираются автоматические выключатели исходя из условий:

– Отключающая способность автоматического выключателя должна быть выше чем максимальное значение тока трехфазного короткого замыкания.

$$I_{cu} > I_k(3).$$

– Номинальный ток или установленный ток автоматического выключателя должен быть выше, чем ток нагрузки, но ниже чем, токопроводящая способность проводника [25].

$$I_{\text{доп. каб}} > I_{\text{н ав}} \cdot K_p;$$

$$I_{\text{н ав}} > I_p \cdot K_z.$$

– Уставка срабатывания автоматического выключателя должна быть выше чем пусковой ток электроприемника.

–

$$I_{c.o} > 1,05 \cdot K_z \cdot K_p \cdot I_{\text{пуск}}.$$

– Уставка срабатывания автоматического выключателя меньше расчетного тока однофазного короткого замыкания

–

$$I_{c.o} < I_k(1).$$

где I_{cu} (кА) – отключающая способность выключателя.

– $I_k(3)$ – действующее значение тока трехфазного короткого замыкания на шинах устройства где установлен аппарат защиты

– $I_{доп.каб}$ – длительно допустимый ток кабеля по техническим характеристикам проводника и ПУЭ;

– $I_{н.ав}$ – номинальный ток автоматического выключателя;

– I_p – расчетный ток нагрузки

– $I_{c.o}$ – уставка срабатывания автоматического выключателя;

– $I_{пуск}$ – пусковой ток электроприемника;

– K_z – коэффициент запаса-1,2

– $K_{ч}$ – коэффициент чувствительности

– K_p – коэффициент разброса, учитывающий возможный разброс тока срабатывания относительно значения, приведенного на шкале автомата; принимается 1,13 [26].

В качестве автоматических выключателей на шинах ЩСН – 0,4 кВ должны применяться аппараты с отключающей способностью выше чем действующее значение тока трехфазного короткого замыкания на шинах ЩСН – 0,4 кВ. Принимаем аппараты защиты с наибольшей отключающей способностью – I_{cu} 36 кА.

В качестве аппаратов защиты щита АВР, применяют автоматические выключатели с наибольшей отключающей способностью выше чем ток трехфазного короткого замыкания на шинах щита АВР расчетным режимом для схемы является режим питания от сетевого трансформатора. Принимаем аппараты защиты с наибольшей отключающей способностью – I_{cu} 36 кА.

В качестве аппаратов защиты щита РШ панели потребителей первой категории, принимаются автоматические выключатели с наибольшей отключающей способностью выше чем ток трехфазного короткого замыкания в наиболее тяжелом режиме [27]. Для расчетной схемы таким режимом является режим работы ИБП от «байпаса». Принимаем аппараты защиты с наибольшей отключающей способностью – I_{cu} 10 кА.

Выбираем аппарат защиты, питающий АБП1 (QF1, АВР, АБП).

Номинальный ток с учетом КПД ИБП 20%, составляет:

$$I_n = 34,6 \text{ А.}$$

Максимальный пусковой ток существующих электроприемников при одновременном пуске нагрузок – 161 А (0,8мс).

Расчетный ток однофазного дугового короткого замыкания в конце линии (шины ИБП) 2,2 кА.

Расчетный ток трехфазного металлического короткого замыкания в начале линии на шинах щита АВР 6,9 кА.

Принимаем аппарат защиты номинальным током 100 А, с расцепителем имеющим уставки $I_r = (0,9)I_n = 90 \text{ А}$; $I_i = 7 * I_r = 630 \text{ А}$.

Выбранный аппарат обеспечивает неотключение при пусковых токах, существующих электроприемников и имеет запас для подключения перспективной нагрузки [28].

Выбираем аппарат защиты QF1 ЩСН – 0,4 кВ (АБП Байпас).

Принимаем полную мощность потребителей первой категории питаемых от ИБП с учетом загрузки ИБП до предельных номинальных значений равной мощности:

$$I_{n.бп} = 30,35 \text{ А.}$$

Максимальный пусковой ток существующих электроприемников при одновременном включении нагрузки 161 А (0,8мс).

Расчетный ток однофазного дугового короткого замыкания в конце линии (шины ИБП) 2,9 кА.

Расчетный ток трехфазного металлического замыкания в начале линии 13.1 кА.

Принимаем аппарат защиты номинальным током 100 А, с расцепителем имеющим уставки $I_r = (0,9) \cdot I_n = 90 \text{ А}$, $I_i = 8 \cdot I_r = 720 \text{ А}$.

Выбранный аппарат обеспечивает неотключение при пусковых токах, существующих электроприемников и имеет существенный запас с учетом перспективной нагрузки [29].

Выбираем аппарат защиты QF2 ЩСН – 0,4 кВ.

За максимальную мощность принимаем мощность электроприемников ИБП и мощности электроприемников второй категории ЛАЗ – 500:

$$I_n \text{ ИБП} = 34,6 \text{ А};$$

$$I_n \text{ ЛАЗ-500 кат} = 48 \text{ А}.$$

Максимальный пусковой ток электроприемников ($8 \cdot i_n$) второй категории ЛАЗ – 500, 110 А (0,8 мс) и суммарный пусковой ток линии при одновременном включении нагрузки при условии ограничении тока до $2,33 I_n$ (АБП) составит 191 А.

Расчетный ток однофазного дугового короткого замыкания в конце линии 2,9 кА.

Ток трёхфазного металлического КЗ на шинах щита ЩСУ составит 13,3 кА.

Принимаем аппарат защиты номинальным током 200 А, с расцепителем имеющим уставки $I_r = 1 \cdot I_n = 200 \text{ А}$, $I_i = 10 \cdot I_r = 2000 \text{ А}$.

Схема питания потребителей от РШ и щита АВР с учетом резервных фидеров приведена «Схема электрическая однолинейная» раздела РД [30].

4) Выбор сечения кабельных линий:

Сечение питающих кабельных линий выбирается исходя из расчетной мощности ИБП. Сечения кабелей отходящих линий, выбираются из расчета фактической мощности электроприемников.

Сечение питающих кабельных линий выбирается исходя из требуемой мощности, с учетом следующих условий:

- Длительно допустимый ток кабеля должен быть выше чем уставка срабатывания автоматического выключателя по перегрузке

$$I_{\text{доп.каб}} > I_n;$$

- Расчетный ток нагрузки должен быть меньше чем длительно допустимый ток кабеля

$$I_{\text{доп.каб}} > I_p;$$

- Кабель должен удовлетворять требованиям термической стойкости

$$S_{\text{мин доп}} < S_{\text{каб}};$$

- Кабель должен удовлетворять условиям не возгорания

$$Q_k < Q_{\text{доп каб}};$$

где $S_{\text{мин.доп}}$ – расчетное значение минимального сечения проводника (мм²);

Q_k – конечная температура проводника по время расчетного тока короткого замыкания.

5) Проверка кабеля на термическую стойкость и не возгорание.

5.1) Расчёт на термическую устойчивость:

Расчет производим для кабеля при КЗ в начале линии

1. Определяем постоянную времени затухания апериодической составляющей тока КЗ в точке К1:

$$T_a = \frac{x_{\text{ЭК}}}{\omega_c * R_{\text{ЭК}}};$$

где $x_{\text{ЭК}}$ – полное реактивное сопротивление цепи;

ω_c – синхронная угловая частота (314 рад/с);

$R_{\text{ЭК}}$ – полное сопротивление при дуговом КЗ.

$$T_a = \frac{X_{\text{ЭК}}}{\omega_c * R_{\text{ЭК}}} = 0,012;$$

2. Определяем \min допустимое сечение кабеля по термической стойкости S_{\min}

$$S_{\min} = \frac{(1000 * I_{\text{КЗ.мах}}^{III} * \sqrt{T_{\text{откл.}} + T_a})}{K};$$

где $T_{\text{откл.}}$ – время отключения аппаратов защиты.

Коэффициент K , принимаем – $K=122$ для кабелей с ПВХ изоляцией, медными жилами.

5.2) «Проверка кабеля по условиям не возгорания:

Расчёт ведется в соответствии циркуляром Ц-02-98(Э).

Величина начальной температуры жилы до КЗ:

$$\Theta_n = \Theta_0 + (\Theta_{\text{дд}} - \Theta_{\text{окр}}) \cdot \left(\frac{I_{\text{раб}}}{I_{\text{дд}}} \right)^2,$$

где Θ_0 – фактическая температура окружающей среды во время КЗ, принята равной 30°C;

$\Theta_{\text{дд}}$ – значение расчетной длительной допустимой температуры жилы для кабеля ВВГнг с изоляцией из ПВХ 70°C;

$\Theta_{окр}$ – значение расчетной температуры окружающей среды (воздуха) 25°C;

$I_{раб}$ – значение тока перед КЗ, А» [12];

$I_{дд}$ – значение расчетного длительно допустимого тока, А.

$$\theta_n = 30 + (70 - 25) * \left(\frac{69 * \sqrt{3}}{146} \right) = 40^\circ\text{C}.$$

Длительно допустимый ток рассчитан с учётом поправочного коэффициента 0,8.

Расчёт температуры жилы кабеля во время воздействия КЗ.

Расчёт ведется с учётом действия резервных защит.

$$\Theta_k = \Theta_n \cdot e^k + a \cdot (e^k - 1),$$

где Θ_k – температура жилы в конце КЗ, °C;

Θ_n – температура жилы до КЗ, °C

a – величина, обратная температурному коэффициенту электрического сопротивления при 0°C, равная 228°C

Коэффициент, характеризующий взаимосвязь между тепловым импульсом, материалом жилы и теплофизическими характеристиками материала жилы:

$$k = \frac{b \cdot B_{мер}}{S^2},$$

где b – постоянная, характеризующая теплофизические характеристики материала жилы, равная для меди 19,58мм⁴/(кА²с);

$$B_{мер} = \int_0^t i_{кз}^2 dt$$

– тепловой импульс от тока КЗ, кА²с;

S – сечение жилы, мм².

$$\theta_k = 40 * e^{0,014} + 228 * (e^{0,014} - 1) = 52,24^{\circ}\text{C};$$

Согласно ГОСТ Р52736-2007, Кабели и изолированные провода с медными и алюминиевыми жилами и изоляцией из ПВХ, имеют предельно допустимую температуру нагрева проводников при коротком замыкании, равной: - 350С [14].

Для всех проводников, условия проверки на невозгораемость соблюдаются.

5.3) Выбор кабельной линии СОПТ-СГП:

Проектом предусматривается использование в качестве аккумуляторов системы гарантированного питания- батареи СОПТ «ППУ-500 новое».

Расчет ведется для условий вывода в ремонт одного из источников бесперебойного питания [2].

Выбор кабельных линий и номинальных токов аппаратов защиты щита представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор аппаратов защиты

№	Присоединение	Расчет	Ток	Номинальный ток	Средний ток	Уставка	Кратность	Ток	Коэффициент	Выполнение	Выполнение
	е	ч	п	н	с	в	н	с	иц	о	не
	д	е	е	а	д	к	о	р	ие	л	ни
	и	т	р	л	н	а	с	а	нт	н	е
	н	н	е	ь	с	с	т	б	чу	е	ус
	е	ы	г	н	с	р	ь	а	вст	н	ло
	н	й	р	ы	а	а	с	т	ви	и	ви
	и	у	й	й	к	б	р	ы	те	е	я
	е	т	з	т	в	а	а	в	ль	у	чу
		о	к	о	а	т	б	а	но	с	вст
		к	и	к	д	ы	а	н	ст	л	ви
				а	р	в	т	и	и	о	те
		I	I	п	.	а	ы	я	А	в	ль
		(	п	п		н	в	о	В	и	но
		А		а	з	и	а	т	Кч	я	ст
		)	(	р	н	я	н	с	=К	н	и к
			А	а	а	І	и	е	з*	е	то
			)	т	ч	і	я	ч	Кр	с	ку
				а		х		к		р	КЗ
				з	т	(		и		а	в
				а	с	І		І		б	ко
				щ	к	п		о		а	нц
				и	а	)		т		т	е

				Т Ы И Н (А)	Д У П С Е С П С Е Н И Е З И В Д А (А)			с (А)		Ы В А Н И Я П Р И Т О К Е П Е Р Е Г Р У З К И	Л И Н И И
1	АБП1	89,6 4 5 8 9 8 7	161, 8 4 9 7	100	875 , 9 7 0 9 1	5	1,751 9 4 1 8	500	1,43	ДА	ДА
2	АБП2	89,6 4 5 8 9 8 7	161, 8 4 9 7	100	875 , 9 7 0 9 1	5	1,751 9 4 1 8	500	1,43	ДА	ДА

5.4) Расчет токов короткого замыкания линии СОПТ-СГП:

«Начальное значение тока металлического короткого замыкания в электрической цепи, питающейся от полностью заряженной аккумуляторной батареи:

$$I_{км} = (E_{расч} * n * 10) / R_{к\Sigma} ;$$

где $I_{км}$ – ток металлического короткого замыкания, А;

$E_{расч}$ = 1,93 В – расчётная ЭДС одного элемента АБ, В;

n – количество элементов АБ;

$R_{к.\Sigma}$ – суммарное сопротивление цепи КЗ, мОм.

Это сопротивление равно:

$$R_{к. \Sigma} = R_{ш} + R_{каб} + R_{апп} + R_{пк} + R_{пр} + R_{аб};$$

где $R_{ш}$ – активное сопротивление шин, мОм;

$R_{каб}$ – активное сопротивление кабеля, мОм;

$R_{аб}$ – внутреннее сопротивление АБ, мОм;

$R_{апп}$ – активное сопротивление защитных и коммутационных аппаратов, мОм;

$R_{п.к.}$ – активное сопротивление разъединяющихся контактов защитных и коммутационных аппаратов принимается равным 1 мОм;

$R_{пр}$ – активное сопротивление проводов, мОм.

Сопротивление проводов, кабелей и шинопроводов рассчитывается при известных длине и сечении по формуле:

$$R = \rho * \frac{l}{S} * 10^3 ;$$

где R – сопротивление, мОм; ρ - удельное сопротивление, Ом·мм²/м.

Для меди $\rho = 0,0172$ Ом·мм²/м, для алюминия $\rho = 0,0283$ Ом·мм²/м;

l – длина, м;

S – сечение, мм².

При известном значении тока металлического КЗ, средние амплитудные и средние среднеквадратичные значения токов дугового КЗ» [18]:

$$I_{кда} = I_{км} * K_{да};$$

$$I_{кдср} = I_{км} * K_{дср};$$

где $K_{д.а.}$, $K_{д.ср.}$ – значения дугового коэффициента.

Результаты расчетов токов короткого замыкания в таблице 8.

1	Ввод АБ панель ввода	АБ	Панель ввода ЩПТ	7	30,0 0	14,74	2,2	73,50	2730,85	0,61	1653,6 7	0,5 0	1360,2 3
2	Секция 1 ЩПТ	Панель ввода ЩПТ	Секция 1 ЩПТ	7	1,2	0,59	2	73,89	2716,45	0,61	1645,7 8	0,5 0	1353,4 4
3	АБП1	ЩПТ	АБП1	5	50,0 0	34,40	7	117,49	1708,39	0,64	1089,7 3	0,5 1	875,97
4	АБП2	ЩПТ	АБП2	5	50,0 0	34,40	7	117,49	1708,39	0,64	1089,7 3	0,5 1	875,97

«Выбор проводников по условиям рабочего режима:

Сечение жил кабеля выбирается с учетом следующих требований:

– сечение жил кабеля должно обеспечивать возможность длительного протекания рабочего тока нагрузки;

– сечение жил кабеля должно быть достаточным для обеспечения требуемого уровня напряжения у потребителей в конце режима аварийного разряда;

– сечение кабеля в сочетании с характеристиками защитных аппаратов должно обеспечивать защиту цепи от дуговых КЗ с сохранением термической стойкости кабеля допускающей его дальнейшую эксплуатацию» [12].

Выбор сечения кабеля осуществляется по выражению:

$$I_{д.д} \geq \frac{I_{расч}}{n_{пров} * kt};$$

где $I_{расч}$ – расчетный ток длительной нагрузки, А;

$n_{пров}$ – количество параллельных проводников в одном полюсе;

$I_{длит.доп}$ – длительно допустимый ток проводника;

kt – поправочный коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды, принимаем 1.

Выбранные сечения кабелей и результаты проверки, представлены в таблице 9.

Проверка кабеля по термической стойкости и по условиям невозгорания проводится в соответствии с СТО РусГидро 02.02.105-2013

Результаты проверки термической и пожарной стойкости кабелей и определение температуры нагрева жил кабеля сведены в таблицу 10.

Таблица 9 – Проверка кабеля по условиям рабочего режима, проверка кабеля на не возгорание

№ п.п.	рисоединение	Кабель марка	сечение Sm m2	расчетный ток I(A)	номинальный ток аппарата защиты In (A)	Доп (A)	откл с е к .	кз (кА) сред не кв знач тока дуго вого КЗ в нача ле линии	аппарата резер вной защи ты	Qu	Qк	Inaгр.	Втер	раб. (A)	к	дд (A)	Проверка на не возгорае мость	выполнени е услови я провер ки кабеля по услови ям рабочег о режима
1	АБП1	ВВГнг А L S	50	82,47	100	16	5	1,195	T4N250	46,74	62,55	89,65	7,14	89,65	0,056	46,74	ДА	ДА
2	АБП2	ВВГнг А L S	50	82,47	100	16	5	1,195	T4N250	46,74	62,55	89,65	7,14	89,65	0,056	46,74	ДА	ДА

Таблица 10 – Проверка кабеля на термическую стойкость

№п.п.	рисоединение	Кабель марка	ечение Sm m2	Расчетный ток I(A)	оминимальный ток аппарата защиты In (A)	доп (A)	откл сек.	Iкз (кА) Метал лич кз к конце линии	Qi	Qk	Iнагр.	Втер	Iраб. (A)	k	Iдд (A)	ыполнение условия проверк и кабеля на термич ескую стойкос ть
1	АБП1	ВВГнг А LS	50	82,47	100	167	0,02	1,71	46,7446	46,7446	89,65	0,05837	89,6	0,00045	146,96	ДА
2	АБП2	ВВГнг А LS	50	82,47	100	167	0,02	1,71	46,7446	46,744	89,65	0,05837	89,6	0,00045	146,96	ДА

3.1 Проверка емкости СОПТ ППУ-500

В качестве аккумуляторных батарей системы гарантированного питания ППУ-500 используется АБ существующей системы постоянного тока СОПТ ППУ-500.

В качестве расчетного режима принимаем режим аварийного разряда АБ СОПТ с учетом постоянной аварийной нагрузки потребителей СОПТ и СГП при исчезновении напряжения СН ППУ-500, а также достаточность обеспечения АБ СОПТ толчковой нагрузки, вызванной отключением электромагнитов выключателей в конце аварийного получасового разряда.

«Нагрузки системы постоянного тока могут быть отнесены к двум условиям:

- постоянная – соответствует току, потребляемому в нормальном режиме работы, и остающаяся неизменной в режиме аварийного исчезновения переменного напряжения в системе СН;

- толчковая – кратковременная нагрузка продолжительностью не более 5с, характеризующая переходный режим аварийного разряда» [16].

Нагрузка системы гарантированного питания относится к постоянной нагрузке.

«Основным потребителем постоянного тока являются устройства релейной защиты и автоматики, цепи вторичной коммутации РЗА и ПА. Такая нагрузка характеризуется постоянным потреблением оперативного тока с относительно малыми токами» [16]. Толчковая нагрузка появляется во время отключения электромагнитов выключателей ОРУ 500 кВ. Выключатели типа GL317 имеют два электромагнита отключения на фазу.

3.1.1 График нагрузки потребителей

Мощности шкафов защит принимается 60 Вт.

Потребляемый ток электромагнитов отключения выключателей серии GL317 – 1.6А.

В соответствии с потребляемой мощностью в режиме аварийного разряда определяем:

- постоянную нагрузку – 23А;
- максимальная нагрузка АБП (СГП) при питании потребителей с учетом КПД инвертора (0,92) – $16\text{кВт} \cdot 0,92 = 17,4\text{кВт}$;
- толчковый ток при максимальной одновременной работе электромагнитов 7 присоединений от ШОТ 500 с учетом работы двух электромагнитов отключения – 67,2А.

3.1.2 Проверка АБ

За расчетный режим длительности исчезновения напряжения принимаем режим 30 – минутного разряда.

В качестве элементов АБ СОПТ используются 8Groe200 в количестве 104 элементов.

Характеристики нагрузки и АБ приведены в таблицах 11 и 12.

Таблица 11 – Характеристика АБ

№ п.п.	Наименование параметра	Характеристика/значение
1	Элемент АБ	8Groe 200
2	R одного элемента (мОм)	0,475
3	Кол-во элементов n	104
4	Внутреннее сопротивление АБ (мОм)	51,87

Таблица 12 – Характеристика нагрузки

№ п.п.	Характеристика нагрузки в режиме аварийного разряда	Значение (А)
1	Постоянная нагрузка	23
2	Толчковая нагрузка	67,2
3	Нагрузка СГП	89

3.1.3 Проверка выбранной емкости

Проверка выбранной емкости производится с учетом отсутствия устройств стабилизации напряжения на шинах ЩПТ.

Минимальное напряжение для обеспечения работы:

- электромагнита отключения – 154 В;

– терминалов РЗА– 176 В.

Определяем минимально допустимое напряжение на АБ, с учетом падения напряжения в кабельной линии до электромагнитов отключения.

Расчетным режимом для определения потерь напряжения в сети СОПТ является режим аварийного разряда, с учетом нагрузки СГП ППУ – 500, в конце которого возможно включение выключателей на ОРУ либо отключение группы выключателей действием дифференциальной защиты шин высокого напряжения на ОРУ.

В соответствии с СТО 02.02.105-2013, минимальное напряжение на элементе АБ без учета стабилизатора должно быть не менее 1,8 В. Принимаем в качестве граничного значения 1,83В на элементе. Напряжение на АБ при этом составит 190,3В- при 104 элементах.

Переход АБП на питание от АБ принимаем в наиболее тяжелом режиме нагрузки на линию СОПТ-АБП при котором нагрузка СГП питается от одного АБП.

Напряжение на вводе АБ (АБП СГП) в режиме аварийного разряда постоянным током (без учета толчка):

$U_{в} = U_{ш} - \Delta U_{щпт_абп} = 193,3 - 2,83 = 190,5$ В (минимальное напряжение на вводе АБ АБП-185В).

В конце аварийного получасового разряда при срабатывании ЭМО, напряжение на шинах ЩПТ составит:

$$U_{ш} = E_{расч} * n - R_{АБ} (I_{расч} + I_{эмв}) - R_1 (I_{расч} + I_{эмв}) = 1,93 * 104 - 0,0565 * (23 + 89 + 67,2) - 0,014 * (23 + 89 + 67,2) = 188,1 \text{ В.}$$

где $I_{эмв}$ - ток включения ЭМО выключателей;

$I_{расч}$ постоянная нагрузка СОПТ и СГП;

$E_{расч}$ - 1,93 В – расчетная ЭДС;

R_{AB} - внутреннее сопротивление АБ в конце получасового разряда
=56,5 мОм;

R_1 - сопротивление кабеля цепи ввода рабочего питания 14,7 мОм.

Напряжение на вводе АБ (АБП СГП) в режиме толчка:

$$U_B = U_{ш} - \Delta U_{щпт_абп} = 188,1 - 2,83 = 185,4 \text{ В}$$

Минимальное напряжение на вводе АБ АБП-185В, что соответствует нижнему порогу. Напряжение на электромагните составит:

$$U_{уас} = U_{ш} - \Delta U_{щпт_шот} - \Delta U_{шот_аув} - \Delta U_{аув_уас} = 188,1 - 4,56 - 0,66 - 8,8 = 174,1$$

$$\Delta U_{щпт_шот} = R_{(щпт_шот)} * I_{расч(щпт_шот)} = 0,110 * 41,5 = 4,56 \text{ В};$$

$$\Delta U_{шот_аув} = R_{(шот_аув)} * I_{эмв} = 0,412 * 1,6 = 0,66 \text{ В};$$

$$\Delta U_{аув_уас} = R_{(аув - уас)} * I_{эмв} = 5,504 * 1,6 = 8,8 \text{ В};$$

где $R_{(щпт_шот)}$ - сопротивление кабеля ВВГ нг (А) - LS на участке ЩПТ-ШОТ220, длиной 225м, сечением 70мм².(Ом).

$R_{(шот_аув)}$ - сопротивление кабеля ВВГ нг (А) - LS на участке ШОТ220-АУВ ВЛ220, сечением 2,5мм², длиной 35м., (Ом).

$R_{(аув_уас)}$ -сопротивление кабеля ВВГ нг (А) -LS на участке АУВ ВЛ220-ЭМО, сечением 2,5мм², длиной 400м., (Ом).

$I_{расч(щпт_шот)}$ -суммарный расчетный ток нагрузки с учетом срабатывания половины электромагнитов отключения.

$I_{эмв}$ - ток потребления электромагнитов в присоединении.
Потребляемый ток одного ЭМО выключателя - 1,6 А.

С учетом отсутствия в цепи питания стабилизатора, ток разряда и толчковый ток составят:

$$I_p=112 \text{ A};$$

$$I_T=(112+67,2)=179,2 \text{ A}.$$

Из условия выбора требуемый ток на пластину элемента 8Groe 200 составит:

– при постоянной нагрузке:

$$112/8=14 \text{ A}.$$

– при толчковой нагрузке:

$$179,2/8=22,4 \text{ A}.$$

Проводим проверку по номограмме разрядных характеристик Groe 25. Отмечаем уровень минимально допустимого напряжения 1,83 В. Для определения точки 1, находим пересечение характеристики разряда током 14 А с кривой 30-минутного разряда. Проводим перпендикуляр из точки 1 до пересечения с характеристикой разряда толчковым током 22,4. На вертикальной оси определяем значение напряжения во время толчка. Напряжение на элементе во время толчка АБ 1,87 В, что удовлетворяет требованиям.

Снимаемая емкость в конце 30 минутного разряда:

$$112*0,5=56 \text{ А/ч},$$

с учетом толчковой нагрузки за 1 минуту,

$$56+(172,2/60)=59 \text{ А/ч},$$

что составляет 30% от номинальной разрядной емкости

Определяем глубину и время разряда до минимально допустимого напряжения 1,83В. Двигаемся по кривой разряда постоянным током 14 А до пересечения с кривой 30 минутного разряда или перпендикуляром 7А/ч.

$56/8=7\text{А/ч}$ на пластину;

$59/8=7,4$ на пластину.

Точка 1 – пересечение с кривой 30-минутного разряда (рисунок 21).

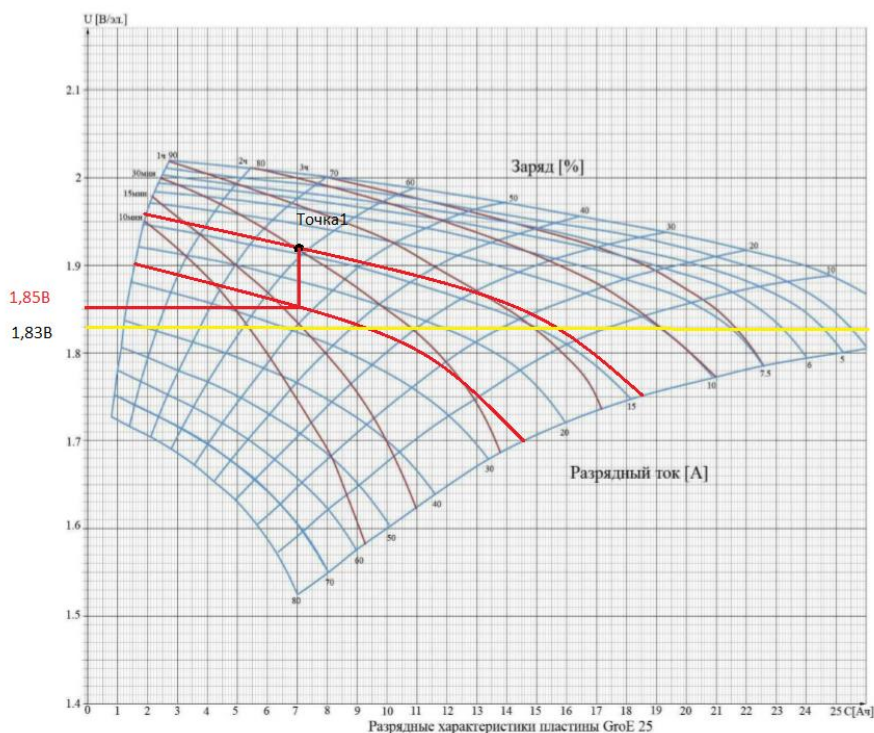


Рисунок 21 – Разрядные характеристики пластины GroE 25

Затем опускаемся до кривой разряда током 22,4 А и продолжаем движение до пересечения с перпендикуляром 7,4 А/ч (ток толчка). Затем по кривой разряда током 14А, продолжаем движение до пересечения с прямой уровня минимально допустимого напряжения 1,83 В. Снимаемая емкость с пластины в этот момент 15,5 А/ч. Снимаемая емкость с элемента АБ 124 А/ч. Что соответствует времени разряда постоянным током (с учетом толчка) составит 1,11 часа (рисунок 22).

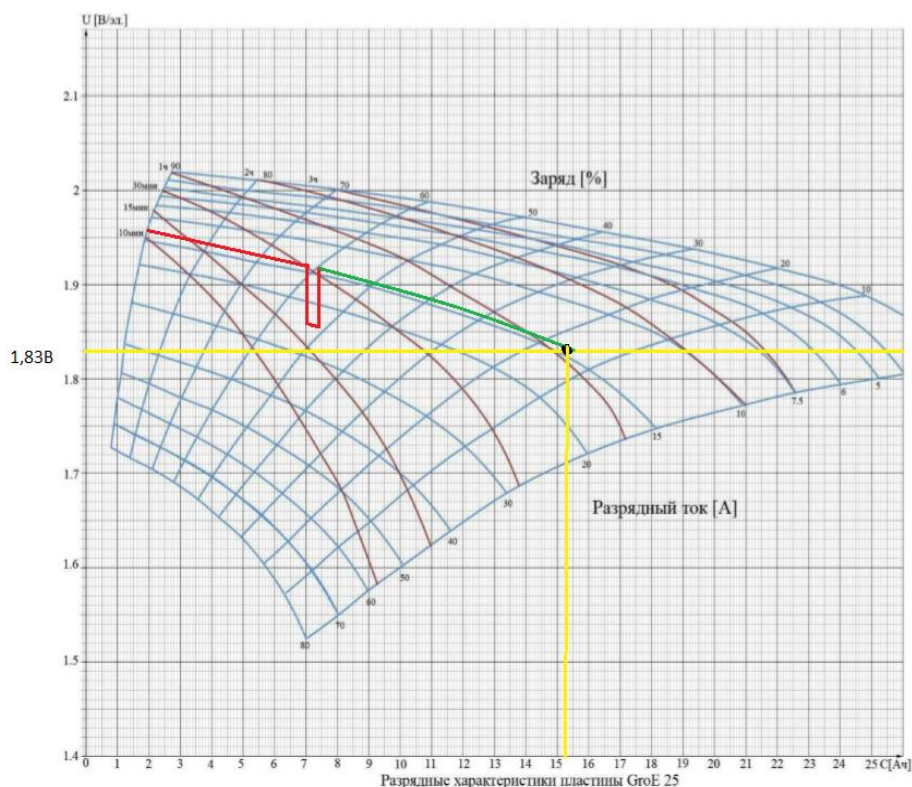


Рисунок 22 – Разрядные характеристики пластины GroE 25 (с учетом толчка)

Выводы по разделу

В разделе проведена интересная работа по проверке эффективности защит, имеющих достаточно серьезные величины пусковых токов, достигающих в начальный момент времени $10I_n$ в течении 0,8 мс. Проведен анализ работы защит при работе с перегрузкой, достигающих 150% в течении 1 минуты. Представляет интерес расчеты по величинам номинального тока в режиме работы через «байпас», грамотно проведен выбор аппаратов защит с проверкой их отключающей способности.

Произведен выбор кабельной продукции с проверкой на термическую стойкость и невозгорания.

Выполнен анализ эффективности работ аккумуляторных батарей с учетом постоянной аварийной нагрузки с учетом отсутствия устройств стабилизации напряжения на шинах щита постоянного тока.

Заключение

В связи с изменением на ОРУ-500 кВ Жигулевской гидроэлектростанции - нагрузки, нового ППУ-500 кВ и для дальнейшего переоснащения оборудования, был разработан и предложен план по модернизации электроснабжения потребителей СН ОРУ-500 кВ.

Электроснабжение СН ОРУ-500 кВ происходит от двух силовых трансформаторов типа RESIBLOC, в которых каждый имеет мощность 630кВА.

Коэффициент загрузки силовых трансформаторов в данной системе приравнивается к 0,6. Силовые трансформаторы изготовлены с пониженными потерями холостого хода, сухого типа.

Оборудование ячеек на напряжение 0,4 кВ монтируются в отдельном помещении распределительного устройства 0,4 кВ. Щит СН выполнен по схеме с одинарной секционированной системой сборных шин.

Из сборных панелей напольного исполнения выполняется сборка щитового оборудования РУ-0,4кВ.

Марка ячеек щита распределительного устройства 0,4кВ «TriLine-R» компании «ABB». Доступ к обслуживанию и ячеек с двух сторон.

В ячейках применяются электронные расцепители и выключатели выкатного типа.

В данной работе были произведены расчеты токов КЗ на напряжениях 10кВ и 0,4кВ.

Итогами разработанного проекта является:

- организация полного резервирования электропитания оборудованием АСУ ТП ППУ-500 путем внедрения 2-х комплектов АБП Venning и комплекты распределительной сети;

- создание бесперебойного электропитания оборудования АСУ ТП трансформаторной подстанции на водосливной плотине с контролем электрических параметров в узлах СГП;

- во вновь проектируемых шкафах реализация контролеров сбора дискретной информации и организация оснащение коммутационного оборудования контактами состояния и аварии;
- передача информации в АСУ ТП с целью дальнейшего архивирования и хранения параметров во Вторичной Базе Данных по протоколу «Ethernet»;
- организация питания АБП от батарей оперативного СП, с заменой старых аккумуляторов;
- расчеты емкостей стационарных АБП.

Список используемых источников

1. Алиев И. И. Электротехника и электрооборудование: справочник : учеб. пособие для вузов. М. : Высшая школа, 2010. 1199 с.
2. Белоруссов Н. И. Электрические кабели, провода и шнуры. М. : Книга по Требованию, 2016. 704 с.
3. ГОСТ 28249 – 11. Короткие замыкания в электроустановках переменного напряжения до 1 кВ. М. : Издательство межгосударственных стандартов, 2011.
4. ГОСТ Р 52735-2012. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением выше 1кВ. М. : Издательство стандартов, 2012.
5. ГОСТ Р 552735 – 2017. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках напряжением выше 1 кВ. М. : Стандартинформ, 2017.
6. Источники бесперебойного питания (ИБП) Riello [Электронный ресурс] : URL: <https://www.ros-energy.ru/oborudovanie/ibp.html> (дата обращения 25.12.2019)
7. Колпачков В.И., Ящура А.И. Производственная эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт энергетического оборудования. М. : 2012.
8. Красник В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств. Производственно-практическое пособие / В. Красник. М. : НЦ ЭНАС, 2014. 795 с
9. Кудрин Б.И. Электроснабжение. М. : Изд. Центр «Академия», 2012. 191 с.
10. Лисовский Г.С., Уманский Б.З., Успенский Б.С., Хейфиц М.Э. Электрическая часть гидроэлектростанций. Главные схемы электрических соединений. М. : Энергия, 2013.

11. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – РД 153-34.0 – 03.150-00.
12. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования : учеб. пособие для вузов. СПб. : БХВ-Петербург, 2014. 607 с.
13. ООО «ГруппаЭнэлт» - Применение системы гарантийного бесперебойного питания [Электронный ресурс] : URL: <http://www.enelt.com/?id=486> (дата обращения 11.12.2019).
14. Портнов Э. Л. Электрические кабели связи и их монтаж : под ред. Э. Л. Портнов, А. Л. Зубилевич. М. : Горячая линия - Телеком, 2014. 262 с.
15. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Тольятти : Издательство ТГУ, 2014.
16. Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для среднего профессионального образования : под ред. Т.В. Чиркова. Москва. : Издательский центр «Академия», 2015. 446 с.
17. Руководство по составлению проекта производства работ для строительства подстанций. РД 34.04.122. М. : Энергия, 2014. 591 с
18. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: РД 153-34.0-20.527-98 : под ред. Б. Н. Неклепаева. М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2016.
19. Система гарантийного электроснабжения [Электронный ресурс] : URL: <http://dialog-e.ru/solutions/storage-center/guaranteed-power-systems/> (дата обращения 25.12.2019).
20. Система гарантийного электроснабжения для нефтегазовой отрасли [Электронный ресурс] : URL: <http://www.erimex-power.ru/projects/oil-gaz.php> (дата обращения 11.12.2019).
21. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Электрические сети : под ред. Фёдорова А.А., Сержинского Г.В. М : Энергия 2013.

22. Техника безопасности в электроэнергетических установках : под ред. П.А. Долина. М. : Энергоатомиздат, 2011.
23. Шкафы комплектных распределительных устройств и комплектных трансформаторных подстанций, камеры сборные одностороннего обслуживания, ячейки герметизированных элегазовых распределительных устройств. М. : Энергия, 2014. 292 с
24. Электрический справочник: В 4 т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии : под общ. ред. В. Герасимова и др. М. : Изд-во МЭИ, 2014.
25. Bucci G., Ciancetta F., Fiorucci E., Ometto A. Survey about Classical and Innovative Definitions of the Power Quantities Under Nonsinusoidal Conditions [Text] / G. Bucci, F. Ciancetta, E. Fiorucci, A. Ometto // International Journal of Emerging Electric Power Systems, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, 2017. 123 p.
26. Fofana I., Hajaj Y. Electrical-Based Diagnostic Techniques for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers [Text]: edited by I. Fofana, Y. Hajaj. Canada : Université du Québec à Chicoutimi, 2016. 26 p.
27. Mark Wizerly. Guaranteed Power System Handbook/ Mark Wizerly McGraw-Hill book company 2017. 148 p.
28. Petkova N. Software System for Finding the Incipient Faults in Power Transformers [Text] / N. Petkova // TEM Journal, Vol. 4, No. 2, 2015. 125-129 p.
29. Rojas-Renteria J., Espinoza-Huerta T., Tovar-Pacheco F., Gonzalez-Perez J. Lozano-Dorantes R. An Electrical Energy Consumption Monitoring and Forecasting System [Text] / J. Rojas-Renteria, T. Espinoza-Huerta, F. Tovar-Pacheco, J. Gonzalez-Perez, R. Lozano-Dorantes // Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 6, No. 5, 2016, 1130-1132 p.
30. Zabihinejad A., Viarouge P. Optimal Design of Coupled Inductors of High Power Modular Multilevel Converter Using a Novel Hybrid Model [Text]: edited by A. Zabihinejad, A. Viarouge, International Journal of Emerging Electric Power Systems. Boston. : International Journal, 2017. 37 p.