

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 17:23:50

Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «Эксплуатация электроэнергетических систем»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	4
1.	Лабораторная работа №1. Исследования режимов синхронного компенсатора реактивной мощности.	5
2.	Лабораторная работа №2. Простые замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью	11
3.	Лабораторная работа №3. Режим работы синхронного генератора	21
4.	Лабораторная работа №4. Релейная защита и автоматика электрооборудования	35
5.	Лабораторная работа №5. Централизованная интеллектуальная защита распределительной сети.	49
6.	Лабораторная работа №6. Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени линии электропередачи и вводного выключателя.	63
7.	Лабораторная работа №7. Исследование влияния параметров элементов, схемы и режима электрической системы на его устойчивость.	73
8.	Лабораторная работа №8. Дистанционное управление и отображение режимных параметров в централизованных комплексах диспетчерского управления.	84
9.	Лабораторная работа №9. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии в централизованных комплексах диспетчерского управления.	95
	Приложения	105

Введение

Целью работы в лаборатории является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с электронными компонентами, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электронных схем и приборов, измерениям электрических величин.

Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях. В предлагаемом учебном пособии описано одиннадцать лабораторных работ.

В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

Лабораторная работа №1

Тема: Исследования режимов синхронного компенсатора реактивной мощности.

Цель работы: Приобрести навыки по включению синхронного компенсатора реактивной мощности без нагрузки на валу.

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка
ПК-2	Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов
	ИД-2 _{ПК-2} Рассчитывает режимы работы системы электроснабжения объекта

Теоретическая часть:

Существуют несколько способов пуска компенсатора. Все они в основном заключаются в том, что в процессе пуска ротор машины разгоняется до скорости, близкой к скорости вращающегося поля, после чего компенсатор входит в синхронизм и начинает работать как синхронный.

Выделяют пуск с помощью разгонного двигателя, частотный и асинхронный пуск.

Для осуществления последнего на роторе в полюсных наконечниках размещают пусковую обмотку. Эта обмотка выполняется по типу короткозамкнутой обмотки асинхронного двигателя. При пуске трехфазная обмотка статора включается в сеть, ротор компенсатора приходит во вращение и разворачивается до скорости, близкой к синхронной. Вхождение в синхронизм достигается после подачи постоянного тока в обмотку возбуждения.

В данном эксперименте обмотки ротора универсальной машины переменного тока выполняют роль пусковых при разгоне компенсатора. По

окончании разгона в обмотки ротора подается постоянный ток и происходит втягивание машины в синхронизм.

Перечень используемого оборудования:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трёхфазный источник питания	201.4	~ 400 В / 16 А
G2	<u>Источник питания двигателя</u> постоянного тока	206.1	<u>0...250 В /</u> <u>3 А (якорь) /</u> 200 В / 1 А (возбуждение)
G3	Возбудитель синхронной машины	209.2	0...40 В / 3,5 А
G4	Машина постоянного тока	101.2	<u>90 Вт / 220 В /</u> <u>0,56 А (якорь) /</u> 2×110 В / 0,25 А (возбуждение)
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	2500 импульсов за оборот
A1	Трёхфазная трансформаторная группа	347.3	380 ВА (звезда) / 220, 225, 230 В / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В
A2	Активная нагрузка	306.1	220 В / 30...50 Вт;
A3, A4, A5	Трёхполюсный выключатель	301.1	~ 400 В / 10 А
M1	Машина переменного тока	102.1	<u>100 Вт / ~ 230 В</u> / 1500 мин
P3	Указатель частоты вращения	506.2	-2000...0...2000 мин ¹

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Замыкаем обмотку возбуждения двигателя.
- Включите выключатель А3 кнопкой «ВКЛ».
- Включаем двигатель как асинхронный.
- Включите выключатель А3 кнопкой «ВКЛ». Двигатель М1 должен прийти во вращение.
- Размыкаем обмотку возбуждения и подключаем к ней возбудитель. Действие производим быстро и именно в указанной последовательности, во избежание включения возбудителя G3 на короткое замыкание.
- Отключите выключатель А3 кнопкой «ОТКЛ.» и сразу же включите выключатель А4 кнопкой «ВКЛ.». Двигатель М1 должен втянуться в синхронизм.
- Нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1.
- Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

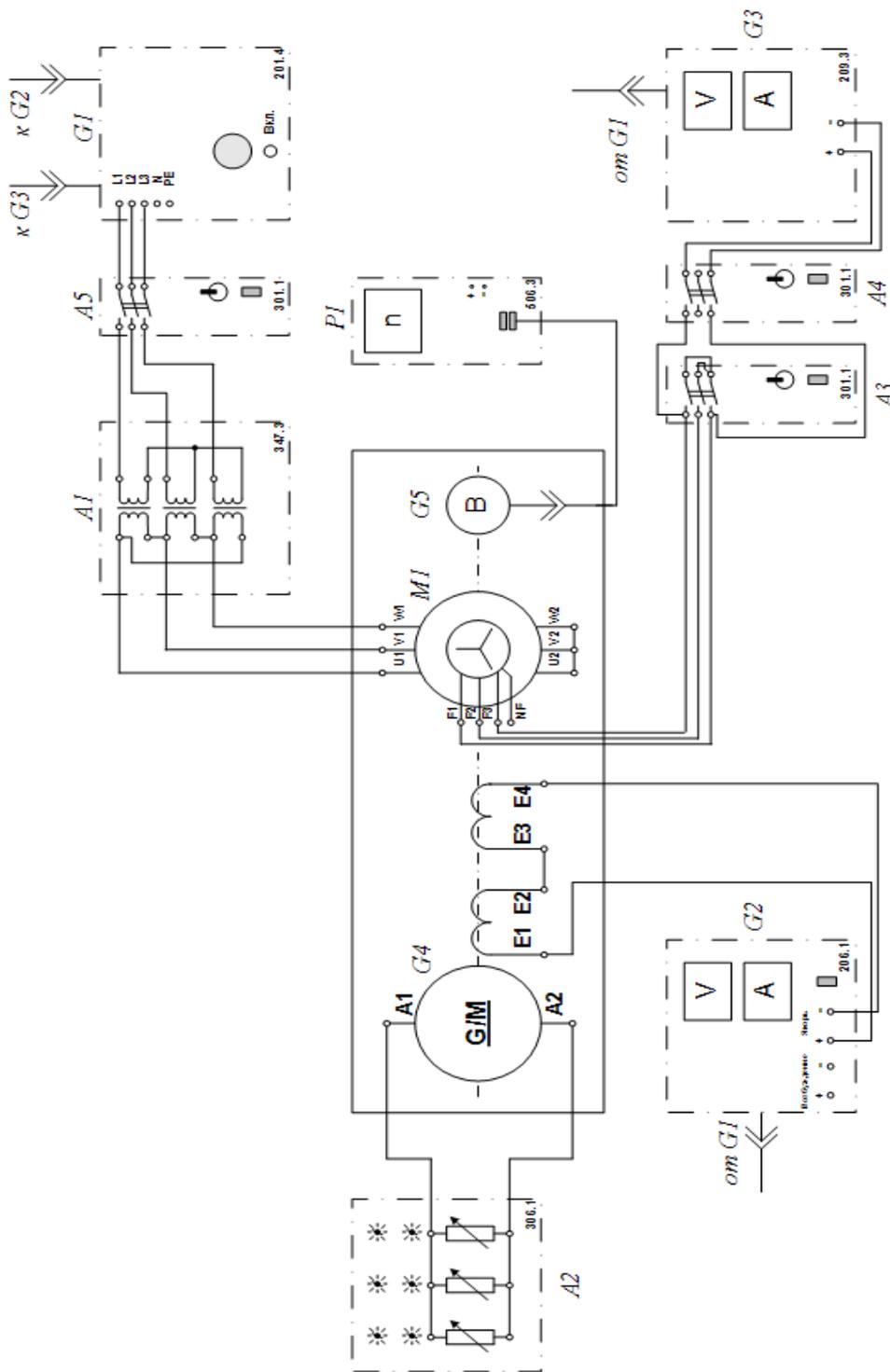


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема пуска синхронного компенсатора реактивной мощности без нагрузки на валу

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Принцип действия синхронной машины и особенности ее конструкции. От чего зависит частота вращения синхронного двигателя?
2. При каких условиях можно использовать асинхронную машину в качестве синхронной?
3. Каково назначение синхронного компенсатора?
4. Какой ток возбуждения называется нормальным?
5. Охарактеризуйте работу синхронного компенсатора в режиме недовозбуждения и в каких случаях такой режим применяется?
6. Охарактеризуйте работу синхронного компенсатора в режиме перевозбуждения и в каких случаях такой режим применяется?
7. Поясните порядок переключений обмотки возбуждения при асинхронном пуске СК.
8. Какой режим (перевозбуждения или недовозбуждения) является расчетным для СК и почему?
9. По каким признакам, находясь на щите управления или в машинном зале, можно узнать, что данный СК находится в асинхронном режиме?
10. Как изменится режим СК после потери возбуждения?

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы:

1. Зарандия, Ж.А. Основные вопросы технической эксплуатации электрооборудования : учебное пособие / Ж.А. Зарандия, Е.А. Иванов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 129 с. : ил.,табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-8265-1386-6 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445120>

Перечень дополнительной литературы:

1. Привалов Е.Е. Эксплуатация воздушных линий электропередач : учебное пособие / Е.Е. Привалов. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 130 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3884-2; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434748>

Лабораторная работа №2

Тема: Простые замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью

Цель работы: Приобретение навыков опытного определение соотношения токов КЗ различных видов.

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка
ПК-2	Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов
ИД-2 _{ПК-2}	Рассчитывает режимы работы системы

Теоретическая часть:

Коротким замыканием (КЗ) называется соединение между фазами, фазой и землей (нулевым проводом), непредусмотренные нормальными условиями работы сети.

В большинстве случаев причиной возникновения КЗ в системе является нарушение изоляции электрического оборудования вследствие износа изоляции, не выявленного своевременно при профилактических испытаниях, или из-за перенапряжений. КЗ могут быть вызваны ошибочными действиями обслуживающего персонала, механическими повреждениями кабельных линий, сближением, набросом на провода или перекрытием птицами проводов воздушных линий.

При возникновении КЗ общее сопротивление цепи системы электрообеспечения уменьшается, вследствие чего токи в ветвях системы резко увеличиваются, а напряжения на отдельных участках системы снижаются.

Короткие замыкания в трехфазных сетях разделяют на трех-, двух-, однофазные и двухфазные на землю, а системы токов и напряжений получают искаженными. Трехфазное КЗ является симметричным, поскольку при нем все три фазы оказываются в одинаковых условиях. Все остальные виды КЗ являются несимметричными, поскольку фазы оказываются в разных условиях, а системы токов и напряжений получают искаженными

Короткое замыкание сопровождается переходным процессом. Рассмотрим переходный процесс, возникающий при трехфазном КЗ в цепи, питающейся от источника бесконечной мощности.

Источником бесконечной мощности называется такой источник, на зажимах которого в нормальном режиме и при КЗ сохраняется симметричная и неизменная по величине трехфазная система напряжений. Угол φ между

током и напряжением каждой фазы определяется соотношением активных и индуктивных сопротивлений всей цепи, включая нагрузку.

Короткое замыкание делит цепь на две части:

- правую - с сопротивлениями r_1 и $x_1 = \omega L_1$ в каждой фазе
- левую - содержащую источник питания и сопротивления цепи КЗ r_k и $x_k = \omega L_k$. Процессы обеих частей схемы при трехфазном КЗ протекают независимо.

Правая часть рассматриваемой цепи оказывается зашунтированной коротким замыканием, и ток в ней будет поддерживаться до тех пор, пока запасенная в индуктивности L энергия магнитного поля не перейдет в тепло, выделяющееся в активном сопротивлении r_1 . Величина тока при активно-индуктивном характере сопротивления цепи не превысит тока нормального режима, который постепенно затухая до нуля, не представляет опасности для оборудования.

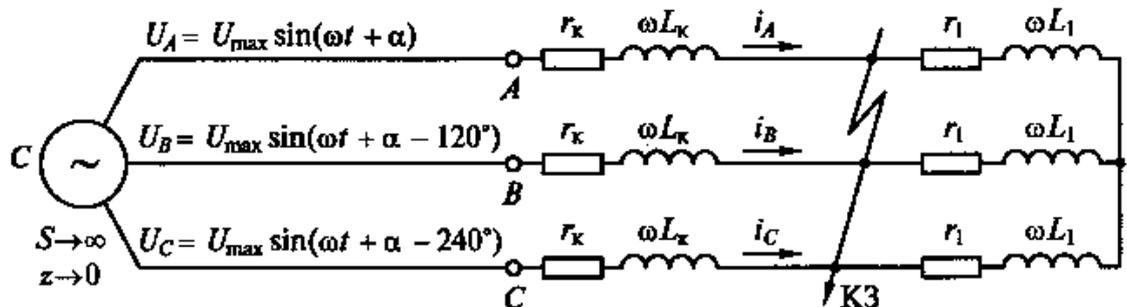


Рисунок 2.1 – Трехфазное КЗ в цепи, питающейся от источника бесконечной мощности

Изменение режима в левой части цепи, содержащей источник питания, при наличии индуктивности L_k также сопровождается переходным процессом. Из курса ТОЭ уравнение этого процесса:

$$u = i \cdot r_k + L_k \cdot \frac{di}{dt}$$

Решение этого уравнения даст выражение для мгновенного значения тока в любой момент времени t от начала КЗ.

$$i_{kt} = \frac{U_m}{z_k} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k) + i_{a0} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$$

$$T_a = \frac{L_k}{r_k} = \frac{x_k}{\omega \cdot r_k}$$

Вынужденная составляющая тока КЗ имеет периодический характер с частотой, равной частоте напряжения источника. Называют эту составляющую обычно периодическим током КЗ. Амплитуда периодической составляющей тока КЗ обозначается как I_{pm} и определяется отношением U_m/z_k :

$$i_{nt} = \frac{U_m}{z_k} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k) = I_{nm} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k)$$

Переходный процесс при питании цепи от источника бесконечной мощности завершается после затухания аperiodической составляющей тока, и далее полный ток КЗ равен его периодической составляющей, неизменной по амплитуде.

Действующее значение тока для произвольного момента времени КЗ равно:

- периодической составляющей:

$$I_{it} = I_{i0} = \frac{I_{im}}{\sqrt{2}} = const$$

- аperiodической составляющей

$$I_{at} = i_{at}$$

- полного тока КЗ

$$I_{kt} = \sqrt{I_{it}^2 + i_{at}^2}$$

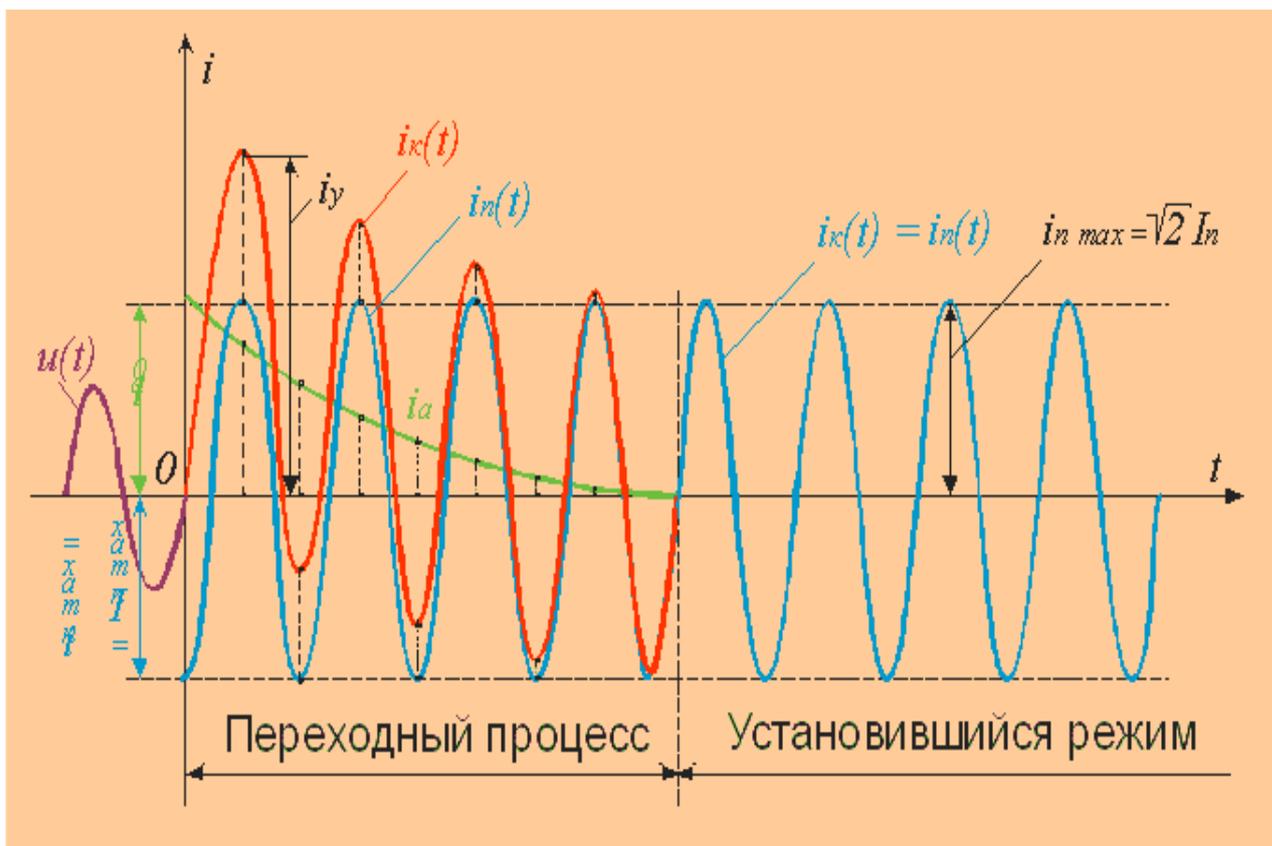


Рисунок 2.2 – Изменение тока трехфазного короткого замыкания и его составляющих для случая возникновения максимального значения аperiodической составляющей

Перечень используемого оборудования:

<u>Обозначение</u>	<u>Наименование</u>	<u>Тип</u>	<u>Параметры</u>
<u>A1</u>	<u>Трехфазная трансформаторная группа</u>	<u>347.3</u>	3 x 80 ВА; 230 (звезда) / 242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 В
<u>A2, A3</u>	<u>Модель линии электропередачи</u>	<u>313.2</u>	400 В~; 3x0,5 А 0...1,5 Гн/ 0...50 Ом 0...20,45 мкФ 0...250 Ом
<u>A4</u>	<u>Трехполюсный выключатель</u>	<u>301.1</u>	400 В ~; 10 А
<u>A5</u>	<u>Трехфазная трансформаторная группа</u>	<u>347.4</u>	3 x 80 ВА; 242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 / 230 В

			(треугольник)
<u>A6</u>	<u>Активная нагрузка</u>	<u>306.1</u>	220/380 В; 50Гц; 30...50 Вт
<u>A7</u>	<u>Индуктивная нагрузка</u>	<u>324.2</u>	220/380 В; 50Гц; 3х40 Вар
<u>A8</u>	<u>Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения</u>	<u>401.1</u>	3 трансформатора напряжения 600 / 3 В; 3 трансформатора тока 0,3 А / 3 В
<u>A9</u>	<u>Коннектор</u>	<u>330</u>	<u>8 аналог. диф. входов;</u> <u>2 аналог. выхода;</u> <u>8 цифр. входов/выходов</u>
<u>A10</u>	<u>Персональный компьютер</u>	<u>550</u>	<u>IBM</u> <u>совместимый,</u> <u>Windows XP,</u> <u>монитор, мышь,</u> <u>клавиатура,</u> <u>плата сбора информации</u> <u>PCI 6024E</u>
<u>G1</u>	<u>Трехфазный источник питания</u>	<u>201.4</u>	<u>400 В ~; 16 А</u>
<u>P1</u>	<u>Блок мультиметров</u>	<u>508.2</u>	<u>3 цифровых мультиметра</u>

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

- Соедините гнезда защитного заземления "■" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.
- Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Смоделируйте интересующий вид короткого замыкания. Для моделирования трехфазного замыкания соедините точки K1, K2, K3 и K4; двухфазного – K1 и K2; двухфазного на землю – K1, K2 и K4; однофазного – K1 и K4.
- Смоделируйте режим работы нейтралей трансформаторов исследуемой сети. Для моделирования глухозаземленной нейтрали соедините точки N1 (N3) и N2. Для случая изолированной нейтрали оставьте эти точки несоединенными.
- Номинальные фазные напряжения трансформаторов A1 и A5 выберите равными 127 В.
- Выберите мощность индуктивной нагрузки A7 – 100 % от 40 Вар во всех фазах, активной A6 – 10% от 50 Вт во всех фазах.
- Переключатель режима работы выключателя A4 установите в положение «РУЧН.».
- Установите следующие параметры моделей линий электропередачи A2 и A3: $R = 200 \text{ Ом}$, $L/R = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$, $C = 0 \text{ мкФ}$.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A10 и запустите программу «Многоканальный осциллограф».
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения источника G1.
- Включите ключ-выключатель источника G1.

- Для регистрации токов фаз выберите сканирование каналов АСН0-АСН8, АСН2-АСН10, АСН4-АСН12; для регистрации напряжений выберите каналы АСН1-АСН9, АСН3-АСН11, АСН5-АСН13. Отобразите панель цифровых индикаторов нажатием на виртуальную кнопку ¹²³. Настройте панель на регистрацию действующих значений сигналов. Выберите подходящие множители (0,1 для токов и 200 – для напряжений).

- Для измерения токов и напряжений схемы также можно использовать блок мультиметров P1.

- Нажмите кнопки «ВКЛ» включения сканирования первого, второго и третьего каналов виртуального осциллографа.

- Нажмите кнопку «ВКЛ» источника G1. Включите выключатель «СЕТЬ» трехполюсного выключателя A5.

- Смоделируйте короткое замыкание, нажав кнопку «ВКЛ» трехполюсного выключателя A4. По цифровым индикаторам определите значения установившихся токов и напряжений при коротком замыкании.

- Отключите выключатель A4 нажатием на кнопку «ОТКЛ» на его передней панели.

- Для анализа влияния удаленности точки короткого замыкания от генератора можно изменять положение точки КЗ и параметры моделей элементов.

- **Внимание! Запрещается моделировать короткие замыкания при суммарном индуктивном сопротивлении линий менее 0,6 Гн. Запрещается моделировать однофазное КЗ на землю при емкостях фаз линий более 0,18 мкФ.**

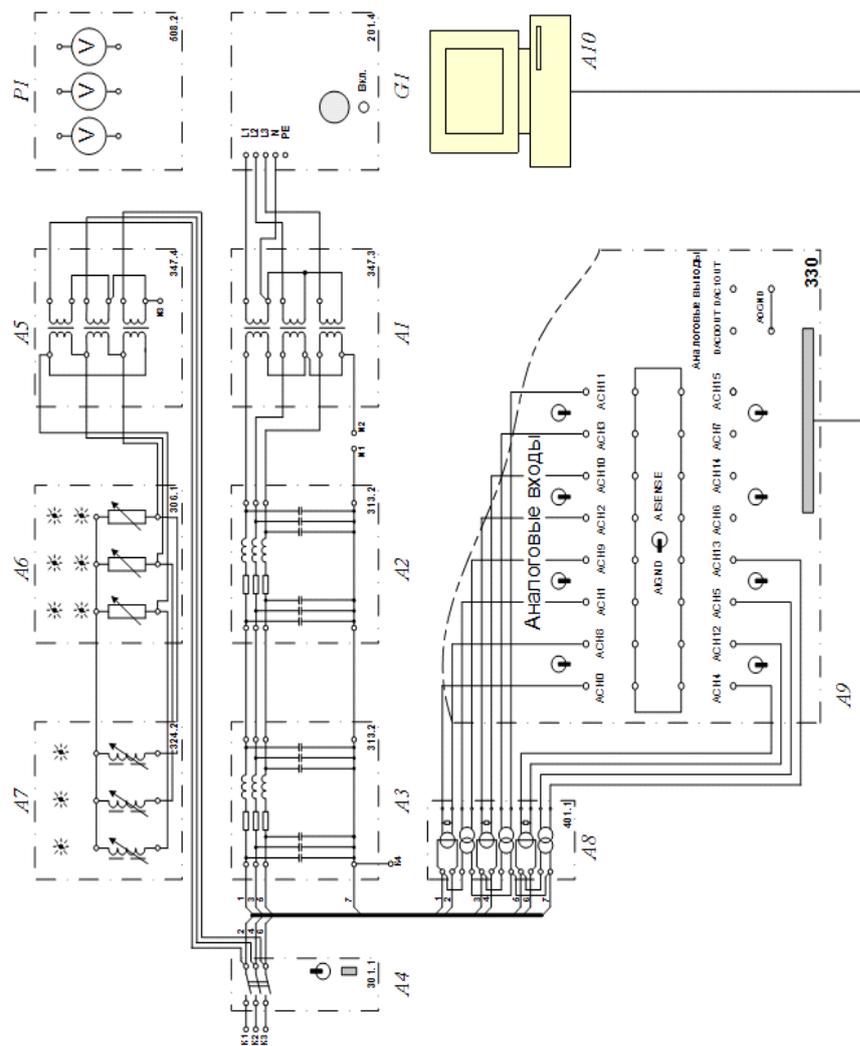


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема исследования соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке сети

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Каковы причины возникновения КЗ в электроустановках?
2. Чем определяется наличие периодической и аperiodической составляющих в токе КЗ?
3. Дайте определение ударного тока КЗ.
4. Через какой промежуток времени после появления КЗ, возникает ударный ток?
5. Какой эффект дает применение быстродействующих устройств релейной защиты и отключающих аппаратов?
6. Какие виды КЗ возможны в сетях с эффективно заземленными и незаземленными нейтральюми?
7. Каковы преимущества и недостатки сетей с изолированными, компенсированными, эффективно заземленными и глухо заземленными нейтральюми?
8. Какое воздействие на электрооборудование вызывает ток КЗ?

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы:

1.Зарандия, Ж.А. Основные вопросы технической эксплуатации электрооборудования : учебное пособие / Ж.А. Зарандия, Е.А. Иванов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 129 с. : ил.,табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-8265-1386-6 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445120>

Перечень дополнительной литературы:

1.Привалов Е.Е. Эксплуатация воздушных линий электропередач : учебное пособие / Е.Е. Привалов. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 130 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3884-2; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434748>

Лабораторная работа №3

Тема: Режим работы синхронного генератора

Цель работы: – исследовать влияние на статическую устойчивость натурного синхронного генератора однофазных, двухфазных и трехфазных коротких замыканий.

– исследовать влияние величины тока возбуждения на статическую устойчивость синхронного генератора при перечисленных видах коротких замыканий.

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка
ПК-2	Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов
	ИД-2 _{ПК-2} Рассчитывает режимы работы системы электроснабжения объекта

Теоретическая часть:

В любой момент времени в электроэнергетической системе может возникнуть резкое нарушение квазиустановившегося режима работы, из-за короткого замыкания, включения или отключения линий электропередачи, генерирующего оборудования или электроустановок потребителя и т.п. Следствием возникшего возмущения является отклонение скоростей вращения роторов генераторов от синхронной, в результате в энергосистеме возникают качания роторов генераторов станций, что ведет к возникновению качаний перетоков активной и реактивной мощности, а также напряжений и токов. Если возникающие колебания затухают, то считается, что динамическая устойчивость сохраняется, в противном случае – динамическая устойчивость нарушается.

Под понятием динамической устойчивости понимают способность энергосистемы переходить от исходного устойчивого режима к другому, также устойчивому режиму либо вернуться к установившемуся режиму, близкому к исходному, после больших изменений ее параметров.

Основным методом исследования динамической устойчивости электрических систем на современном этапе является численное интегрирование дифференциальных уравнений, описывающих поведение системы.

Но существует более простой и наглядный метод, основанный на энергетическом подходе к анализу динамической устойчивости, который называется методом площадей. В данном методе кинетическая энергия системы определяется по площади графика переходного процесса.

Задача исследования заключается в сравнении площадей ускорения и торможения, то есть сравнения кинетической энергии, полученной в процессе ускорения ротора генератора с той энергией, которая расходуется в процессе торможения ротора.

В качестве примера рассмотрим короткое замыкание с отключением параллельной линии электропередачи в простейшей схеме сети, которая состоит из генератора, работающего через силовой трансформатор и двухцепную линию электропередачи на шины бесконечной мощности.

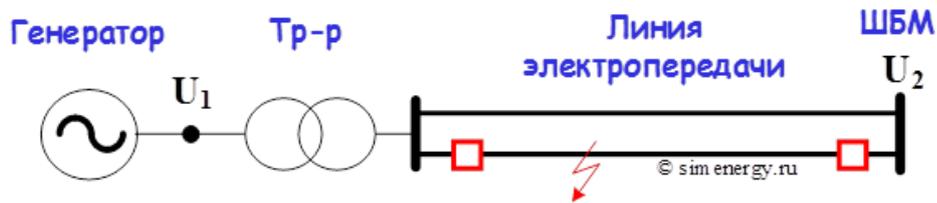


Рисунок 3.1 – Расчетная схема сети

Если сделать допущение о том, что на генераторе установлено АРВ СД, которое контролирует напряжение на стороне генераторного напряжения, а также пренебречь активными сопротивлениями в расчетной схеме сети, то электромагнитная мощность, которая передается от генератора, определяется следующим выражением:

$$P_{эм} = \frac{U_1 \cdot U_2}{(x_{тр} + X_{\Sigma ЛЭП})} \cdot \sin(\delta_{21})$$

В записанном выражении переменная U_1 представляет собой модуль линейного напряжения на шинах станции, приведенный к стороне ВН, а переменная U_2 - модуль линейного напряжения в точке шин бесконечной мощности.

Взаимный угол между вектором напряжения U_2 и вектором напряжения U_1 обозначается через переменную δ_{21} , для которого в

качестве положительного направления принимается направление против часовой стрелки от вектора напряжения U_2 .

В доаварийном режиме работы генератор работает в режиме, который соответствует точке «а», расположенной на угловой характеристике для нормального режима работы (Н.Р.). В рассматриваемом примере мощность турбины принимается неизменной за всё время переходного процесса ($P_T = const$), так как регулятор скорости не успевает за это время изменить мощность, развиваемую турбин.

В некоторый момент времени возникает короткое замыкание, которое вызывает снижение напряжение в сети. Короткое замыкание в расчетной сети, моделируется шунтом короткого замыкания на землю. В зависимости от вида короткого замыкания (однофазное, двухфазное, двухфазное с землей или трехфазное) величина шунта меняется.

В результате короткого замыкания отдаваемая мощность в сеть уменьшается: происходит переход электромагнитной мощности из точки «а» характеристики нормального режима в точку «b» характеристики аварийного режима (А.Р.). Такое скачкообразное изменение активной мощности между двумя характеристиками происходит из-за того, что угол δ мгновенно измениться не может вследствие инерции ротора.

В результате на валу системы турбина-генератор возникает избыточный ускоряющий момент, обусловленный разностью моментов (мощностей) турбины и электромагнитной мощности генератора. Под влиянием ускоряющего момента ротор генератора начнет ускоряться относительно энергосистемы (вектор напряжения U_1 будет перемещаться относительно вектора напряжения U_2). В результате взаимный угол δ_{21} будет увеличиваться и величина электромагнитной мощности перейдет из точки «b» в точку «с».

В точке «с» происходит отключение поврежденной линии электропередачи действием устройств РЗА. После отключения КЗ электромагнитная мощность переходит на характеристику послеаварийного режима (П.А.Р.): происходит переход электромагнитной мощности из точки «с» характеристики аварийного режима (А.Р.) в точку «d» характеристики послеаварийного режима (П.А.Р.). В рассматриваемом примере в точке «d» электромагнитная мощность меньше мощности турбины, поэтому на ротор будет продолжать действовать ускоряющий момент (частота вращения ротора будет расти).

В точке «е» выдаваемая мощность в сеть становится равной мощности турбины, однако в связи с тем, что ротор приобрел некоторую избыточную кинетическую энергию, он продолжит увеличивать скорость вращения. В случае, когда выдаваемая мощность генератора в сеть становится больше мощности турбины, на валу системы турбина-генератор возникает избыточный тормозящий момент, который снижает скорость вращения ротора. В некоторой точке «i» генератор израсходует запасенную кинетическую энергию и ротор начнет перемещаться в обратном направлении. После нескольких колебаний с постепенно затухающей амплитудой относительное движение ротора прекратится и генератор перейдет в новый установившийся режим работы. Если же ротор пройдет за точку, соответствующую углу $\delta_{кр}$, то избыточный момент вновь станет ускоряющим и генератор выйдет из синхронизма.

Работа сил на пути ускорения выражается интегралом:

$$A_{уск} = \int_{\delta_0}^{\delta_1} \Delta P \cdot d\delta$$

Заштрихованная площадь криволинейной фигуры «abcde», называется площадью ускорения, и соответствует (эквивалентна) энергии, запасаемой ротором в процессе ускорения.

Работа сил на пути торможения выражается интегралом, аналогично:

$$A_{\text{торм}} = \int_{\delta_1}^{\delta_{\text{max}}} \Delta P \cdot d\delta$$

Заштрихованная площадь криволинейной фигуры, называется площадью торможения, и соответствует (эквивалентна) энергии, теряемой ротором в процессе торможения.

Таким образом, система будет сохранять устойчивость тогда, когда возможная площадь торможения $A_{\text{торм}}$ будет больше площади ускорения $A_{\text{уск}}$. Если площадь ускорения будет превышать площадь торможения, то генератор выпадет из синхронизма с приемной системой. Приведенный метод оценки динамической устойчивости электроэнергетической системы получил название метода площадей.

Снижения длительности короткого замыкания, которая обеспечивается с помощью применения современных устройств РЗА и выключателей. Время отключения короткого замыкания (работа устройств РЗА и время отключения выключателя) может достигать 40-50 мсек.

Форсировка возбуждения на генераторах, также способствует повышению устойчивости. Форсировка возбуждения вводится в работу при глубоком снижении напряжения генератора вследствие короткого замыкания. Форсировка повышает ЭДС генераторов и напряжение на шинах электростанции, что приводит к уменьшению сброса электрической мощности.

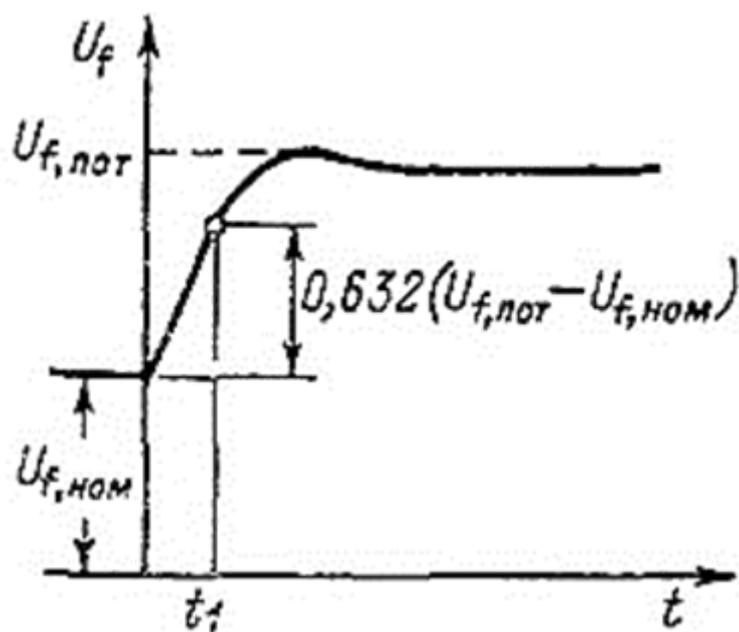


Рисунок 3.2 – Изменение напряжения возбуждения при форсировке возбуждения

Важными техническими характеристиками системы возбуждения генераторов являются: быстрдействие, определяемое скоростью нарастания напряжения на обмотке ротора при форсировке, и кратность форсировки, которая определяется отношением потолочного напряжения к номинальному напряжению возбуждения.

Эффективным средством повышения устойчивости являются все виды автоматического повторного включения (АПВ). Успешное АПВ увеличивает площадку торможения. Отключение части генерирующего оборудования в передающей части энергосистемы. Данное мероприятие приводит к снижению мощности турбины от исходной мощности, что приводит к увеличению максимальной площадки торможения. Одновременно происходит увеличение критического угла δ . Чтобы исключить нежелательное снижение частоты в энергосистеме, ограничение мощности генераторов в передающей части энергосистемы выполняется совместно с отключением части потребителей в приемной ее части.

4. Применение кратковременной импульсной разгрузки тепловых турбин (ИРТ) через систему регулирования является эффективным средством повышения устойчивости. Импульсная разгрузка турбины применяется с целью компенсации избыточной кинетической энергии, приобретенной за время короткого замыкания и бестоковой паузы БАПВ (ОАПВ).

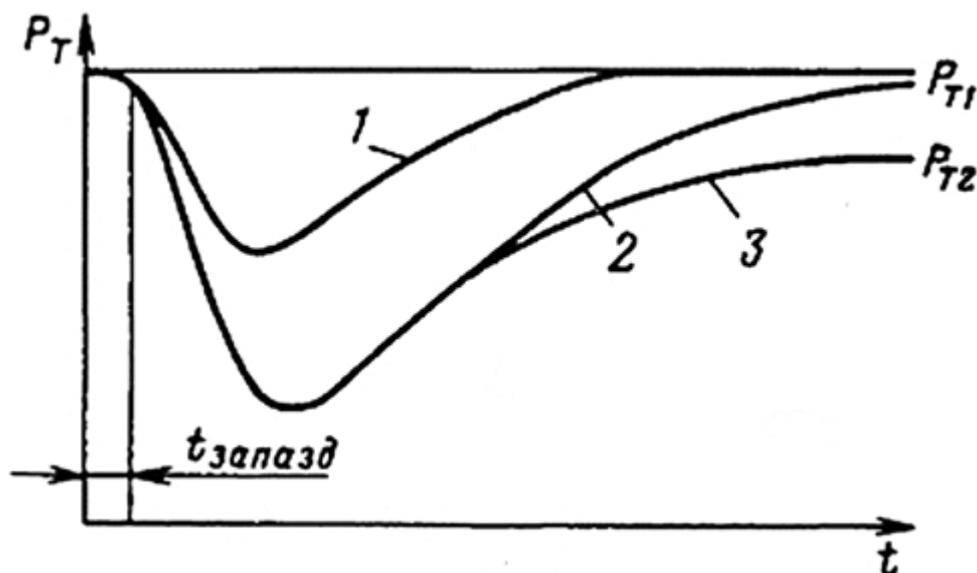


Рисунок 3.3 – Импульсная разгрузка турбины через электрогидравлический преобразователь

Для выполнения импульсной разгрузки тепловые турбины оборудуются специальными электрогидравлическими преобразователями (ЭГП), которые преобразуют электрические сигналы в гидравлические воздействия на систему регулирования частоты вращения. Электрогидравлический преобразователь обеспечивает быстрый ввод в систему регулирования сигнала разгрузки. После снятия сигнала разгрузки система регулирования восстанавливает мощность турбины до первичного значения. Глубина и скорость разгрузки зависят от параметров регулирующего импульса: амплитуды и длительности. Снижение мощности турбины начинается с запаздывания 0,15 – 0,2 сек., обусловленным инерционностью элементов гидравлической системы регулирования.

Минимальное значение мощности достигается через 0,5 – 0,7 сек. после подачи импульса регулирования.

Для снижения мощности турбины в послеаварийном режиме воздействие через ЭПП дополняется воздействием на ограничение мощности турбины (ДРТ) через механизм управления турбиной (МУТ).

Перечень используемого оборудования:

Лабораторный стенд «Интеллектуальные электрические сети» ИЭС2 - СК

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- **ВНИМАНИЕ!** ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ВЫПОЛНЯЕТСЯ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТОЕК «Модель электростанции №1» и «Модель электростанции №2». Собрать схему лабораторных испытаний в соответствии с рис.5 (питание стенда должно быть ОТКЛЮЧЕНО!). Модуль ввода-вывода используется для измерения фазных токов и напряжений. Для этого, измерительные каналы тока А1, А2, А3 включены последовательно в фазы А, В и С между модулем синхронизации и силовым трансформатором Т2. Измерительные каналы по напряжению А4, А5, А6 подключены к клеммам А1, В1, С1 модуля силового трансформатора, измерение напряжений осуществляется относительно общей точки обмоток силового трансформатора Т2. На противоположной лабораторной стойке, собрать схему в соответствии с рис.3.1. Продольную составляющую на модулях линий электропередач установить минимальной (переключатель SA1 в положение 1). Для обеспечения достаточной величины тока однофазного короткого замыкания,

нейтрали трансформаторов со стороны ЛЭП и нейтраль самой ЛЭП должны быть объединены. Поперечные составляющие ЛЭП должны быть включены (переключатели SA2 и SA3 в положении 2).

- Перевести переключатели режима управления всех задействованных блоков в положение «Руч». Установить потенциометры задания RP1 модуля частотного преобразователя и модуля возбуждения в крайнее левое положение.

- На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Переходные процессы – Синхронизация генератора с сетью». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

- Подать питание на стенд (включить автомат модуля питания стенда).

- Включить все задействованные модули, имеющие индивидуальный тумблер подачи питания «Сеть».

- Включить выключатель Q4 (кнопка SB1 на лицевой панели модуля).

- На противоположной лабораторной стойке: включить питание стенда, включить выключатели Q4 и Q7.

- Включить генератор на параллельную работу с сетью.

- Установить исходный режим загрузки синхронного генератора, приблизительно равный половине его номинальной мощности (регулируя задание частотного преобразователя).

- Отрегулировать ток возбуждения для перевода генератора в режим выдачи реактивной мощности (управляя током возбуждения синхронного генератора).

- С помощью автоматических выключателей QF1..QF6, расположенных на лицевой панели модуля короткозамыкателя, выбрать трехфазное короткое замыкание. Провести опыт короткого замыкания (перевести переключатель SA1 модуля короткозамыкателя в положение «Вкл» и через несколько секунд перевести его в положение «Откл») одновременно наблюдая за режимом работы СГ.
- В случае потери устойчивости выполнить действия по ресинхронизации генератора с сетью.
- Повторить опыт при следующих видах коротких замыканий: однофазное, двухфазное, двухфазное на землю. При этом ток возбуждения должен оставаться неизменным ($i_b = \text{const}$).
- Повторить опыты при других значениях тока возбуждения (больше и меньше начального).
- Отключить стенд в соответствии с ПОРЯДКОМ ОТКЛЮЧЕНИЯ СТЕНДА в лабораторной работе №3, отключить все модули и питание стенда на противоположной лабораторной стойке, обработать полученные результаты и оформить отчет по лабораторной работе.

Исследование влияния на статическую устойчивость натурального синхронного генератора вида короткого замыкания в электроэнергетической системе

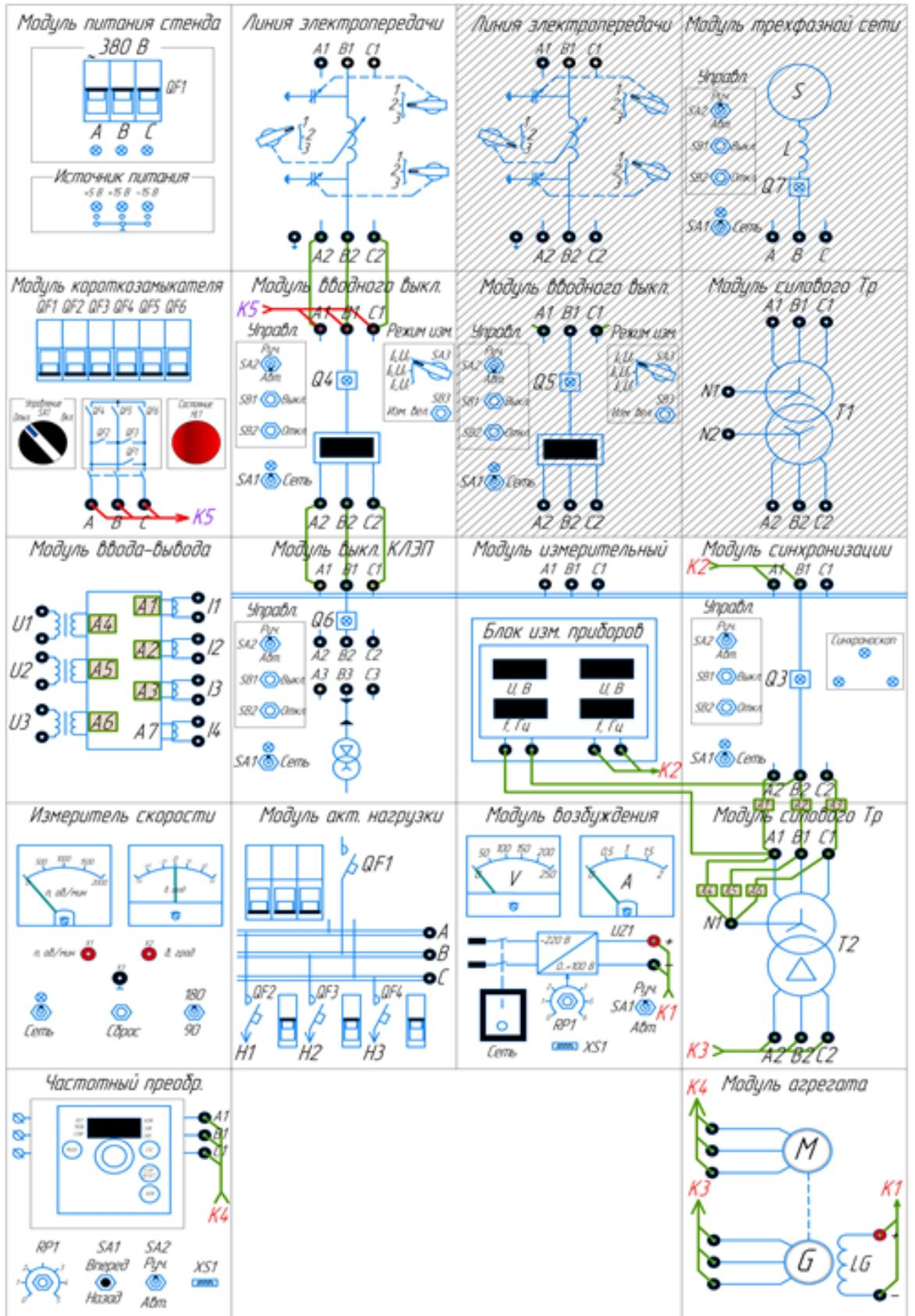


Рисунок 3.4 – Схема включения стойки №1

Исследование влияния на статическую устойчивость натурального синхронного генератора вида короткого замыкания в электроэнергетической системе

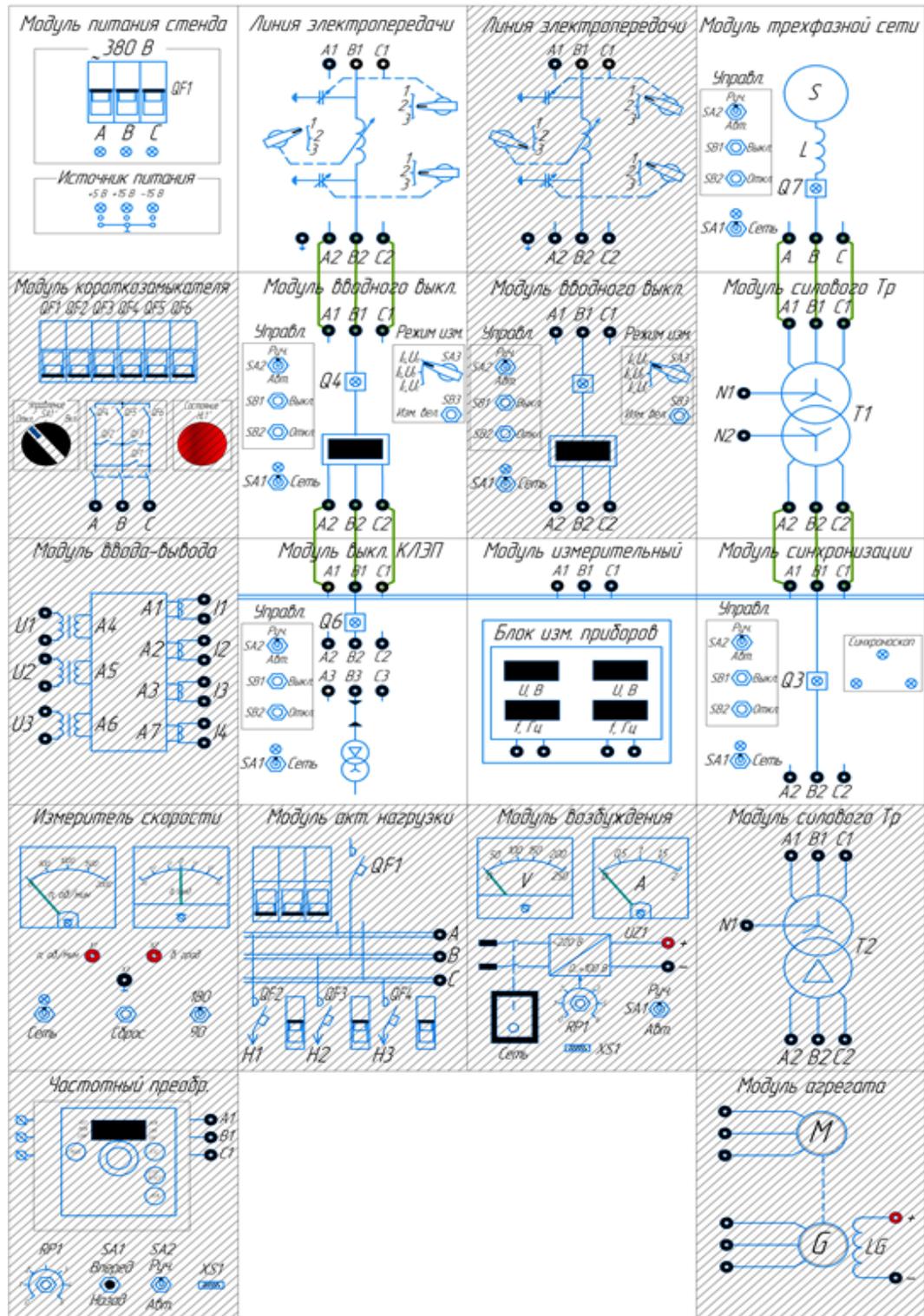


Рисунок 3.5 – Схема включения стойки №2

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Чем отличается статическая и динамическая устойчивости системы?
2. Какие параметры определяются при оценке статической (динамической) устойчивости системы?
3. Перечислите основные методы расчета динамической устойчивости.
4. Как и почему изменяются характеристики мощности генератора в нормальном, аварийном и после аварийном режимах?
5. Как определяется динамическая устойчивость простейшей электрической системы методом площадей?
6. Как изменяется вид характеристики аварийного режима системы в зависимости от места короткого замыкания и (или) вида короткого замыкания?
7. В чем суть графического метода анализа динамической устойчивости?
8. Какими уравнениями описывается процесс движения системы при нарушении динамической устойчивости?
9. Что является причинами больших качаний синхронных машин?

10. Как определяется предельный угол отклонения короткого замыкания?

11. Каков порядок расчета динамической устойчивости методом последовательных интервалов?

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы:

1. Зарандия, Ж.А. Основные вопросы технической эксплуатации электрооборудования : учебное пособие / Ж.А. Зарандия, Е.А. Иванов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 129 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-8265-1386-6 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445120>

Перечень дополнительной литературы:

1. Привалов Е.Е. Эксплуатация воздушных линий электропередач : учебное пособие / Е.Е. Привалов. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 130 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3884-2; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434748>

Лабораторная работа №4

Тема: Релейная защита и автоматика электрооборудования

Цель работы: – изучить принципы реализации комплекса релейной защиты и автоматики электростанции с применением типовых устройств;

– изучить методы расчета уставок основных видов защит;

– исследовать селективность действия защит при различных видах повреждений.

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка
ПК-2	Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов
	ИД-2 _{ПК-2} Рассчитывает режимы работы системы электроснабжения объекта

Теоретическая часть:

В современных условиях параметры магистральных (питающих) ЛЭП 110 кВ и выше регулируются за счет подключения к линии через определенные расстояния управляемых шунтирующих реакторов (УШР), компенсирующих излишнюю емкость ЛЭП и ее излишнюю реактивную емкостную мощность.

Конфигурация распределительных сетей 6, 10 и 35 кВ в зависимости от ситуации может автоматически меняться за счет включения в них через определенные промежутки необслуживаемых автономных автоматических секционных переключателей — пунктов автоматического секционирования. Такой секционный переключатель со своей автономной автоматикой получил название «пункт секционирования столбовой» (ПСС), или «реклоузер» {recloser), — умный, или интеллектуальный, переключатель, а

распределительные сети с такими устройствами стали называть интеллектуальными сетями.

Реклоузеры — это новое поколение интеллектуального автономного коммутационного оборудования, предназначенного для установки на воздушных линиях электропередачи напряжением 6, 10 и 35 кВ и на ответвлениях от них. Применение реклоузеров в распределительных сетях вызвано тем, что 80—90% повреждений в них неустойчивы и самоустраняются в бес- токовую паузу в течение нескольких секунд. Поэтому отключение линии и последующее автоматическое включение ее приводит к устранению причины повреждения и исключает длительные перерывы электроснабжения. Идеология применения реклоузеров — это децентрализованная автоматизация управления воздушными сетями с помощью интеллектуальных устройств, которые анализируют режимы работы электрической сети и автоматически производят ее реконфигурацию в аварийных режимах. В результате этого локализуется место повреждения и восстанавливается электроснабжение потребителей неповрежденных участков сети. Идеология децентрализованной автоматики получила широкое распространение благодаря ее очевидным преимуществам по сравнению с централизованной системой управления.

Реклоузер, или пункт автоматического секционирования, устанавливается на опорах воздушных линий. Он предназначен для работы в условиях умеренного климата при температуре окружающей среды от -60°C до 50°C . Отличительной особенностью реклоузера является простота монтажа и эксплуатации.

Реклоузер содержит (рис. 4.1):

- вакуумный выключатель ВВ;
- систему первичных преобразователей тока и напряжения: датчики тока ДТ (катушки Роговского) и датчики напряжения ДН (емкостные делители напряжения);

- автономную систему оперативного питания — модуль бесперебойного питания МБП с резервным источником (малогабаритная необслуживаемая аккумуляторная батарея);
- модуль управления МУ;
- микропроцессорную систему релейной защиты и противоаварийной автоматики — модуль микропроцессора ММП;
- трансформаторы напряжения ТН типа ОЛ;
- нелинейные ограничители перенапряжений ОПН для защиты от грозových перенапряжений;
- систему портов для подключения устройств телемеханики;
- комплекс программного обеспечения.

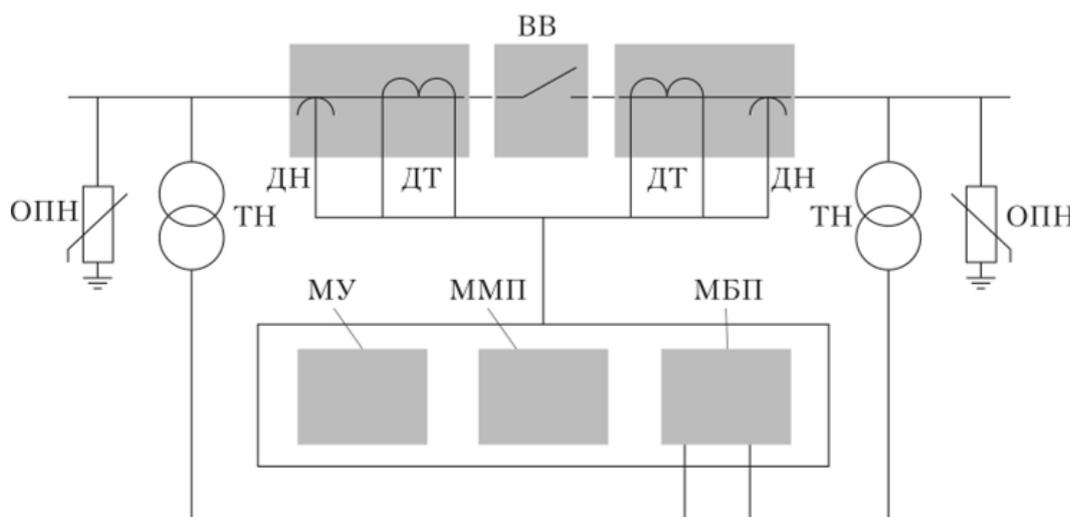


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема реклоузера РВА/TEL-10

На рис. 4.1 приведены схемы включения пунктов автоматического секционирования (реклоузеров) в сетях с односторонним и двухсторонним питанием. В радиальных сетях с односторонним питанием (рис. 8.35, а) реклоузеры без АВР устанавливаются на ЛЭП через определенные участки (обычно 8—10 км), в результате чего увеличивается надежность электроснабжения потребителей отдельных участков, но мере приближения их к центру питания. В сетях с двухсторонним питанием (рис. 4.2, б)

дополнительно устанавливается один реклоузер с функцией АВР, находящийся в нормально отключенном положении.

Комплекс устройств, объединенных в реклоузере, позволяет с помощью микропроцессорной защиты и автоматики определить возникновение повреждения и с помощью коммутационной аппаратуры выделить повреждение, т.е. разделить (секционировать) линию на отдельные участки и с помощью АП В и АВР восстановить питание на неповрежденных участках в кратчайшие сроки. Информация о месте повреждения и переконфигурировании электросети передается с помощью устройств телемеханики диспетчеру района. Предусмотрено и дистанционное управление реклоузером.

Реклоузеры позволяют повысить надежность электроснабжения потребителей, снизить недоотпуск электроэнергии, сократить число аварийных отключений ЛЭП, сократить затраты на обслуживание ЛЭП, повысить технический уровень эксплуатации сетей и реализовать современные принципы автоматизации и управления распределительными сетями.

Рассмотренная выше трехступенчатая токовая защита (две ступени токовой отсечки и МТЗ) реализуется в реклоузерах не аппаратным, а программным способом. Это позволяет выполнить не только третью ступень, но и все три ступени с выдержкой времени, зависящей от значения тока (рис. 4.3).

Для настройки токовой защиты от междуфазных коротких замыканий можно использовать 12 типов стандартных времятоковых характеристик или создать собственную характеристику (характеристику пользователя).

Кроме ненаправленной токовой защиты может подключаться и направленная токовая защита. Число ступеней защиты может быть увеличено до четырех. Дополнительно предусмотрена защита от однофазных замыканий на землю (033) с контролем тока нулевой последовательности, защита минимального и максимального напряжения. Предусмотрен

технический учет электроэнергии, автоматическое повторное включение и автоматическое включение резерва. Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) позволяет проводить отключение нагрузки, выдавать сигнал при снижении частоты ниже уставки. Электронный журнал оперативных событий отражает все события, происходящие с реклоузером. Счетчик операций включения и отключения вакуумного выключателя измеряет суммарное число операций, что позволяет определять механический износ контактов выключателя, выраженный в процентах.

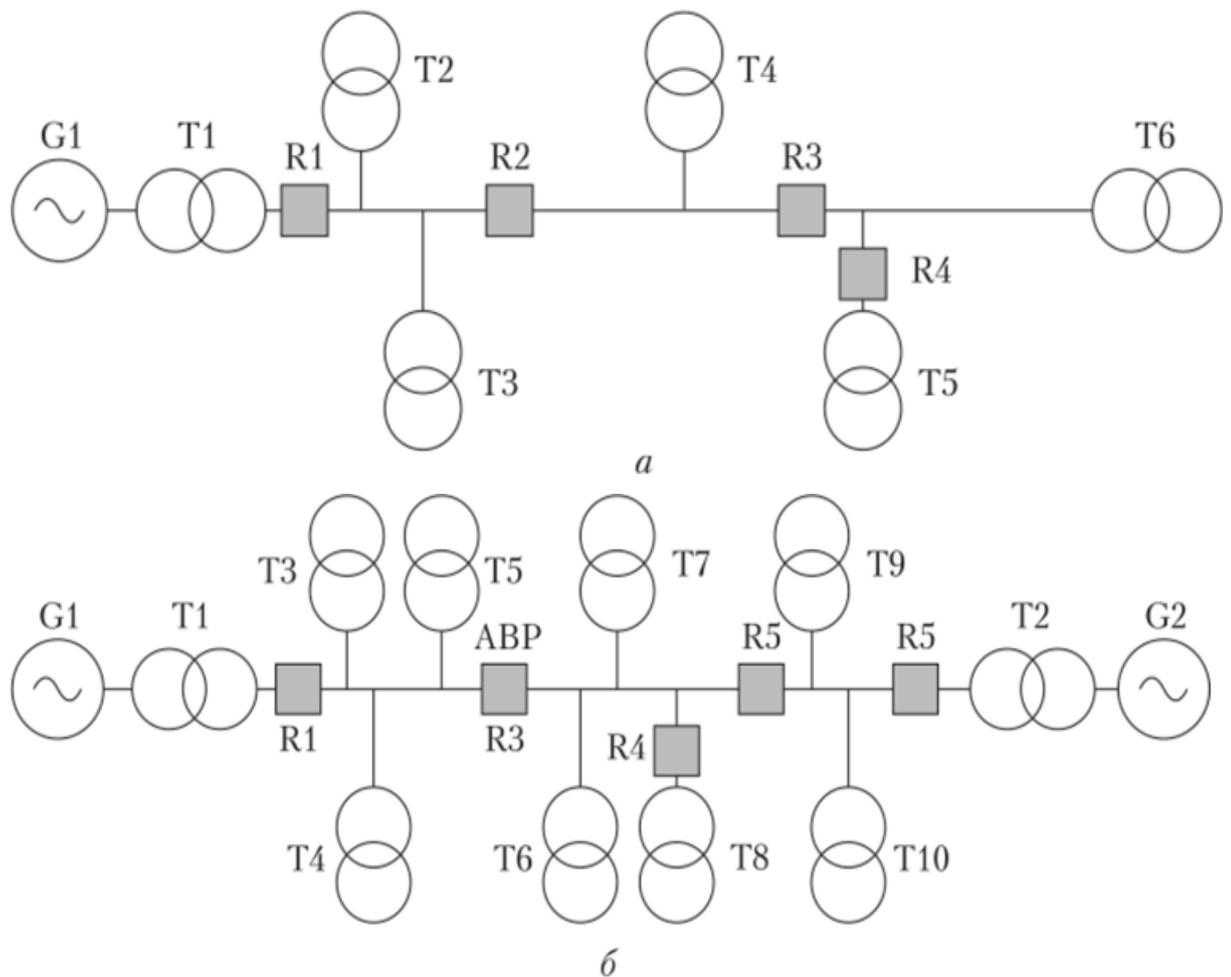


Рисунок 4.2 – Схемы включения реклоузеров в сетях с односторонним (а) и двухсторонним (б) питанием

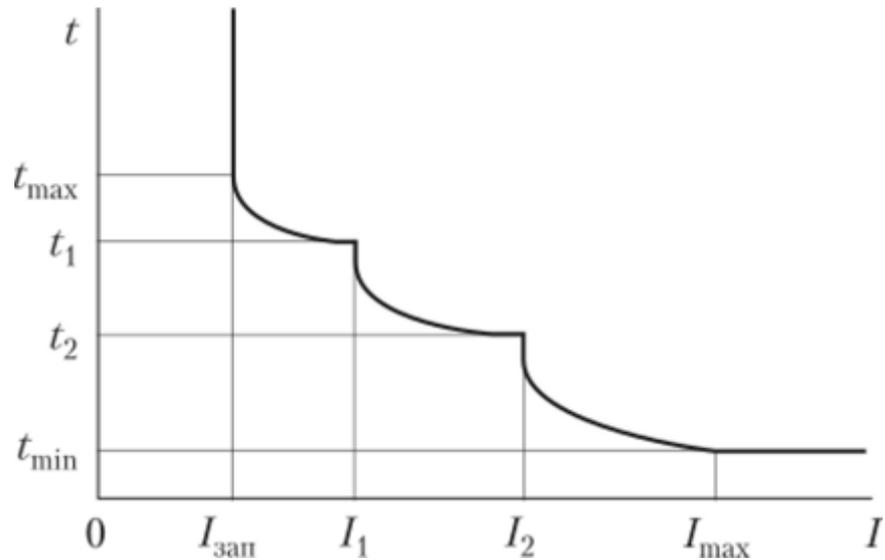


Рисунок 4.3 – Зависимость времени срабатывания ступеней защиты от тока

Для работы с реклоузером разработано специальное программное обеспечение TELUS, которое позволяет изменять основные настройки аппарата и уставки защит.

В заключение укажем, что в одной главе невозможно рассмотреть все виды релейной защиты и автоматики (РЗА) в электроэнергетике. Так, не было упоминания о поперечной дифференциальной защите, дистанционной защите, защите от замыканий на землю и многом другом. Здесь были даны лишь основные понятия о релейной защите и автоматике и подходы к выполнению РЗА.

Перечень используемого оборудования:

Лабораторный стенд «Интеллектуальные электрические сети» ИЭС2 - СК

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- На лабораторной стойке «Модель электростанции №1» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №2. На лабораторной стойке «Модель электростанции №2» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №4. Подключить модуль короткозамыкателя для создания трехфазного короткого замыкания на линии электропередачи W2.

- Включить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

- На персональном компьютере централизованного комплекса диспетчерского управления (ЦКДУ) запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Комплекс ДУ – БСПА». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

- На персональном компьютере модели электростанции №1 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №1 – БСПА». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

- На персональном компьютере модели электростанции №2 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №2 – БСПА». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

- Исследовать работу электроэнергетической сети в режиме одностороннего питания. Для этого, дистанционно включить выключатель Q6 электростанции №1 (щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме локального комплекса управления электростанции). Аналогичным образом включить выключатель Q6 на электростанции №2. На централизованном комплексе диспетчерского управления подать команды на включение выключателей линии электропередачи W2 со стороны электростанции №1 и №2.

- На электростанции №1 перевести переключатель SA1 в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, задать уставку по частоте 50Гц, соответствующую частоте вращения приводного двигателя 1500 об/мин. Включить тумблер «Сеть» источника возбуждения синхронного генератора. Изменяя положение потенциометра RP1 модуля возбуждения, установить номинальный ток возбуждения 0,8А. С мнемосхемы ПК подать команду на включение выключателя Q3. Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, восстановить номинальную частоту напряжения в сети 50 Гц.

- Измерить величину тока рабочего режима линии электропередачи W2.

- Рассчитать токи срабатывания защит. Определить уставки срабатывания защит по времени. Задать полученные уставки защит. Для этого, вызвать диалоговое окно настройки параметров защиты двойным щелчком левой кнопки мыши по прямоугольнику «ТН32» на мнемосхеме локального комплекса управления и защиты электростанции. Задать уставки срабатывания для защиты «ТН31».

- Аналогичным образом задать уставки срабатывания защит «ТН31» и «ТН32» на электростанции №1.

- На централизованном комплексе диспетчерского управления подать команды на включение выключателей линии электропередачи W1 со стороны электростанции №1 и №2.

- Определить уставки срабатывания дифференциальной защиты сборных шин. Для этого, открыть диалоговое окно настройки параметров защиты «ДЗШ», включить короткозамыкатель переключателем SA1, зафиксировать ток в обмотке дифференциального реле тока, отключить короткозамыкатель, рассчитать ток срабатывания реле тока, задать полученное значение в диалоговом окне параметров дифференциальной защиты. Аналогичным образом задать уставки срабатывания защиты «ДЗШ» на электростанции №1.

- На электростанциях №1 и №2 перевести все защиты в работу (щелчок правой кнопки мыши по обозначению соответствующей защиты на мнемосхеме ПК).

- На электростанции №2 переключатель SA1 модуля короткозамыкателя перевести в положение «Вкл» для создания режима короткого замыкания. При правильно выбранных уставках, произойдет селективное отключение линии электропередачи W2. При этом, отключенное состояние коммутационных аппаратов линии W2 отображается одновременно на локальных комплексах управления и защиты и на ЦКДУ. Кроме того, отображается сработавшее состояние защит на электростанциях и по каналу БСПА на ЦКДУ (прямоугольники защит на мнемосхемах имеют красный цвет). Выполнить квитирование защит (одинарный щелчок левой кнопкой мыши по изображению защиты на мнемосхеме электростанции). Обратите внимание, что квитирование защит с ЦКДУ не доступно, однако, при квитировании защиты на локальном комплексе управления и защиты станции, сигнализация срабатывания защиты сбрасывается и на ЦКДУ.

- Переключатель SA1 модуля короткозамыкателя перевести в положение «Откл». На ЦКДУ подать команды теле отключения всех

выключателей в электроэнергетической системе. На электростанции №2 перевести потенциометр RP1 модуля возбуждения в крайнее левое положение, отключить тумблер подачи питания модуля возбуждения «Сеть». Перевести потенциометр RP1 модуля преобразователя частоты в крайнее левое положение, переключатель SA1 установить в среднее положение. Отключить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

- Остановить работу программ управления на электростанциях №1 и №2 кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6. Аналогичным образом, остановить работу программы управления на ЦКДУ. Внимание! При останове работы программ на локальных комплексах управления электростанциями, программное обеспечение на ЦКДУ выдает сообщение, о том, что один из клиентов информационной сети был отключен. Это не является ошибкой.
- Оформить отчет по лабораторной работе.

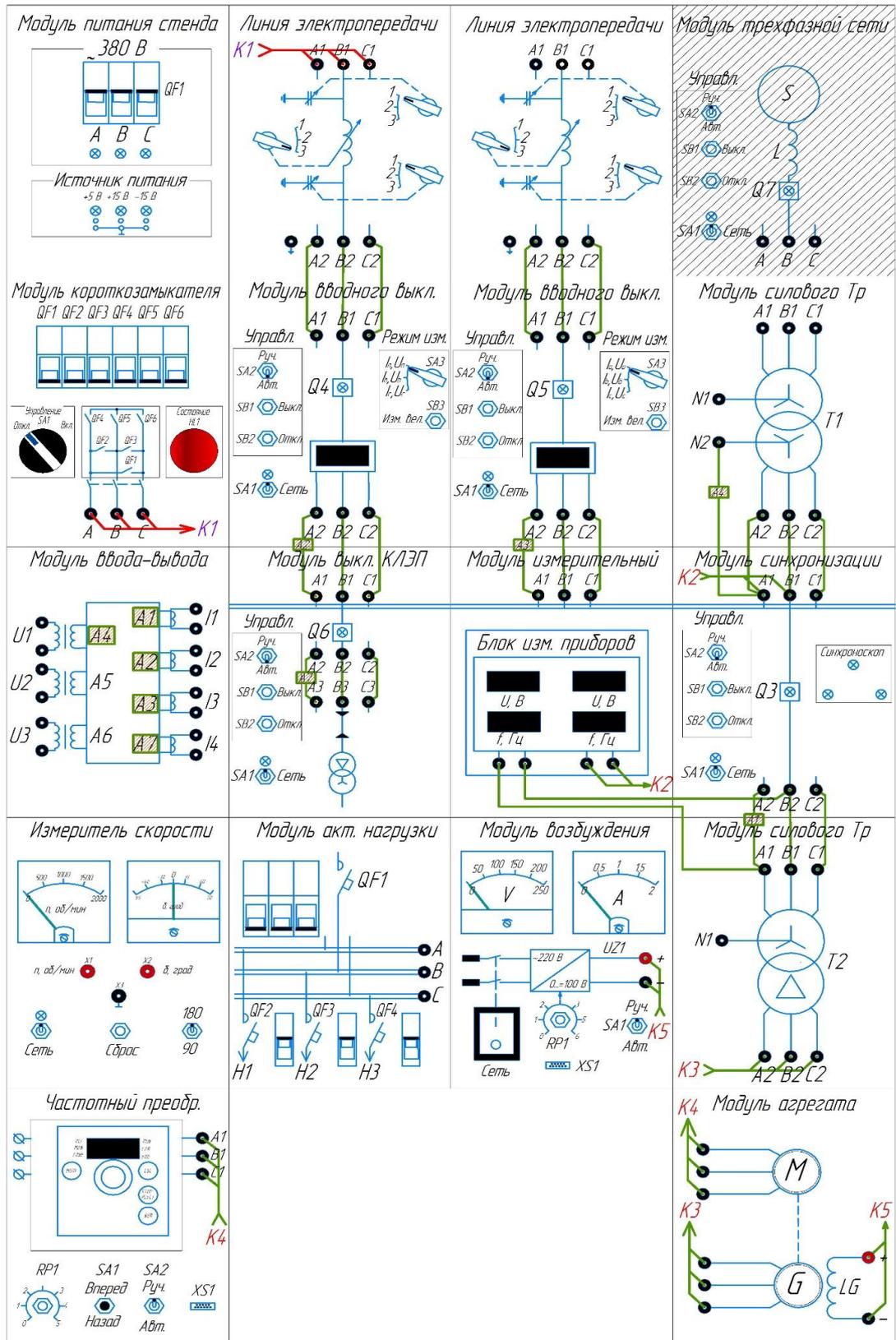


Рисунок 4.4 –Схема соединений лабораторной стойки №1

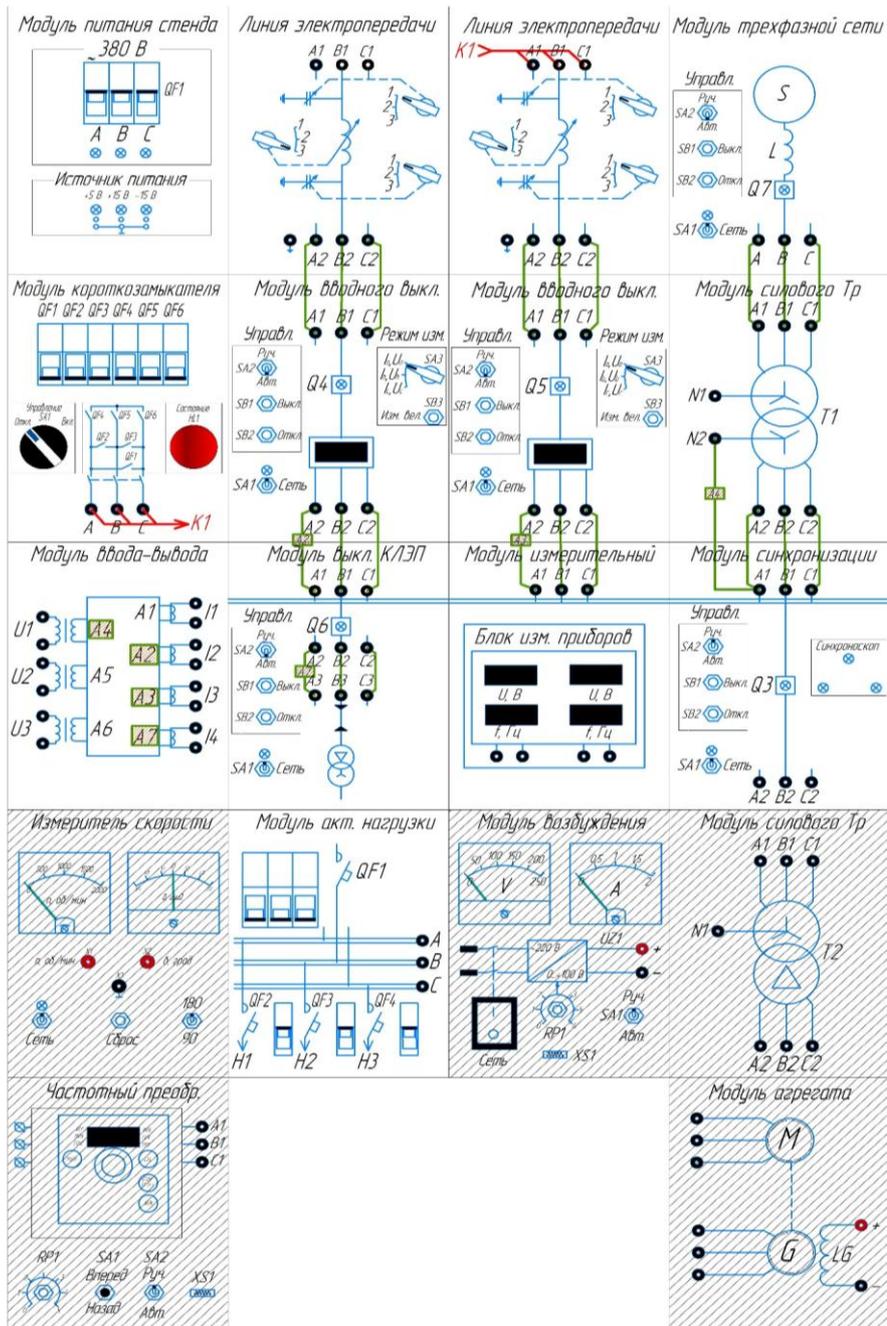


Рисунок 4.5 – Схема соединений лабораторной стойки №2

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Схемы устройств автоматического повторного включения.
2. Назначение устройств автоматического повторного включения.
3. Особенности устройств АПВ – линий с двухсторонним питанием.
4. Требования к устройствам АВР, принципы их выполнения и расчет параметров.
5. Схемы устройств автоматического включения резерва.

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы:

1. Зарандия, Ж.А. Основные вопросы технической эксплуатации электрооборудования : учебное пособие / Ж.А. Зарандия, Е.А. Иванов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 129 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-8265-1386-6 ; То же

[Электронный ресурс]. - URL:
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445120>

Перечень дополнительной литературы:

1.Привалов Е.Е. Эксплуатация воздушных линий электропередач : учебное пособие / Е.Е. Привалов. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 130 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3884-2; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434748>

Лабораторная работа №5

Тема: Централизованная интеллектуальная защита распределительной сети.

Цель работы: – изучить принципы реализации централизованного комплекса релейной защиты и автоматики электростанции;

– изучить методы расчета уставок основных видов защит;

– исследовать селективность действия защит при различных видах повреждений.

Формируемые компетенции:

Код	Формулировка
ПК-2	Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов
	ИД-2 _{ПК-2} Рассчитывает режимы работы системы электроснабжения объекта

Теоретическая часть:

При эксплуатации и проектировании электрической схемы всегда уделяется внимание вопросам ее безопасного использования. С этой целью все электрические приборы защищаются специальными устройствами, которые подбирают и располагают строго по определенной, иерархической зависимости.

Например, когда мобильный телефон стоит на зарядке, то ее протекание контролирует встроенная в аккумулятор защита. Она отключает зарядный ток по окончании набора емкости. Когда же внутри АКБ возникнет короткое замыкание, то установленный в зарядное устройство предохранитель перегорает и обесточивает схему.

Если это по каким-либо причинам не произойдет, то возникшую неисправность в розетке контролирует автоматический выключатель квартирного щитка, а его работу страхует главный автомат. Эту последовательность поочередного срабатывания защит можно рассматривать и дальше.

Ее закономерности определяются принципом селективности, который еще называют избирательностью, подчеркивая функцию выбора или определения места возникновения повреждения, которое необходимо отключить.

Методы избирательности электрических защит формируются во время создания проекта и поддерживаются при эксплуатации таким образом, чтобы своевременно выявить место возникновения неисправности в электрооборудовании и отделить его от действующей схемы с наименьшими потерями для нее.

При этом зону обхвата защит по селективности подразделяют на:

1. абсолютную;
2. относительную.

Первый тип защиты полностью контролирует свой рабочий участок и устраняет повреждения только в нем. По этой закономерности работают встроенные в электроприборы предохранители.

Устройства, созданные по относительному принципу, выполняют больше функций. Они отключают неисправности внутри своей зоны и соседних, но когда в них не отработали защиты абсолютного типа.

Качественно настроенная защита определяет:

1. место и вид повреждения;

2. отличие ненормального, но допустимого режима от ситуации, способной нанести весьма серьезные повреждения оборудованию электроустановки внутри контролируемой зоны.

Устройства, настроенные только по первому действию, работают обычно в неответственных сетях до 1000 вольт. Для высоковольтных электроустановок стараются внедрить оба этих принципа. С этой целью в состав защиты вводят:

- схемы взаимных блокировок;
- точные измерительные органы;
- системы обмена информацией;
- специальные логические алгоритмы.

Между двумя последовательно подключенными силовыми выключателями выполняется защита от сверхтоков, превышающих номинальные значения нагрузки по любой причине. При этом ближний к потребителю с повреждением выключатель должен размыканием своих контактов обесточивать неисправность, а дальний — продолжать подачу напряжения на своем участке.

В этом случае рассматривается два вида селективности:

1. полная;
2. частичная.

Если ближняя к неисправности защита способна полностью ликвидировать повреждения на всем диапазоне уставок без задействования удаленного выключателя, то ее считают полной.

Частичная избирательность присуща ближним защитам, настроенным на срабатывание до какого-то предельного тока селективности I_s . Если он превышен, то вступает в работу удаленный выключатель.

Пределы токов, назначенные для срабатывания автоматических выключателей защит, разделяют на две группы:

1. режим перегрузок;

2. зону коротких замыканий.

Для упрощения разьяснения применим этот принцип к токовым характеристикам автоматических выключателей.

Они настраиваются на работу в зоне перегруза номинальных токов на величину до $8\div 10$ крат.

Для области перегрузок по току создаются защиты, работающие по принципу времятоковой селективности.

Зона коротких замыканий формируется на основе:

- токовой;
- временной;
- энергетической;
- зонной избирательности.

Временная селективность создается за счет выбора разных выдержек времени для срабатывания защиты. Этот способ может быть применен даже к устройствам с одной уставкой тока, но разным временем, как показано на рисунке.

Например, ближайшая к оборудованию защита №1 настраивается на работу при коротком замыкании со временем, близким к 0,02 с, а ее работу страхует более отдаленная №2 с настройкой на 0,5 с.

Самая дальняя защита со временем отключения в одну секунду резервирует работу предыдущих устройств при их возможном отказе.

Токовая селективность настраивается для срабатывания по превышению допустимых нагрузок. Довольно грубо этот принцип можно пояснить следующим примером.

Три защиты последовательно контролируют ток КЗ и настроены на отключение со временем 0,02 с, но с разными токовыми уставками в 10, 15 и 20 ампер. За счет этого оборудование будет отключаться вначале от защитного устройства №1, а №2 и №3 будут избирательно его страховать.

Реализация временной или токовой селективности в чистом виде требует использования чувствительных датчиков или реле тока и времени. При этом создается довольно сложная электрическая схема, которая на практике обычно объединяет оба рассмотренных принципа, а не применяется в чистом виде.

Времятоковая селективность защит

Для защиты электроустановок с напряжением до 1000 вольт применяют автоматические выключатели, которые обладают объединенной времятоковой характеристикой. Рассмотрим этот принцип на примере двух последовательно включенных автоматов, разнесенных по концам линии со стороны нагрузки и питания.

Времятоковая избирательность определяет способ срабатывания выключателя, настроенного на более быстрое отключение при расположении около потребителя электроэнергии, а не на генераторном конце.

На левом графике показан случай наибольшего времени отключения верхней кривой защиты со стороны нагрузки, а на правом — наименьшего времени выключателя на конце подвода питания. Это позволяет более детально анализировать проявление селективности защит.

Выключатель «В», расположенный ближе к питаемому оборудованию, за счет применения времятоковой селективности работает раньше и быстрее, а выключатель «А» резервирует его в случае отказа.

Токовая селективность защит

При этом способе избирательность может формироваться за счет создания определенной конфигурации сети, например, включенной в схему кабельной или воздушной линии электропередач, обладающей электрическим сопротивлением. В этом случае значение тока короткого замыкания между генератором и потребителем зависит от места возникновения повреждения.

На кабельном конце со стороны питания оно будет иметь максимальное значение, например, 3 кА, а на противоположном — минимальное, допустим, 1кА.

При возникновении КЗ около выключателя А не должна работать защита конца В ($I_{кз1кА}$), то он и должен снимать напряжение с оборудования. Для точной работы защит необходимо учесть величину реальных токов, проходящих через выключатели при аварийном режиме.

Следует понимать, что для обеспечения полной избирательности по этому методу необходимо иметь большое сопротивление между обоими выключателями, которое может образоваться за счет:

- протяженной линии электропередачи;
- вставкой обмотки трансформатора;
- включением в разрыв кабеля уменьшенного сечения или другими способами.

Поэтому при таком способе селективность чаще всего бывает частичной.

Временная селективность защиты

Этот метод избирательности обычно дополняет предыдущий способ с учетом времен:

- определения защитой места и начала развития неисправности;
- срабатывания на отключение.

Формирование алгоритма работы защиты производится за счет постепенного приближения уставок по току и времени при перемещениях токов КЗ к источнику питания.

Избирательность по времени может создаваться автоматами одних номиналов по току, когда у них есть возможность регулировки задержки на срабатывание.

При этом способе защиты выключателя В отключают неисправность, а выключателя А — контролируют весь процесс и находятся в готовности к

работе. Если за время, отведенное для срабатывания защит В короткое замыкание не устранилось, то повреждение ликвидируется работой защит стороны А.

Метод основан на использовании специальных новых видов автоматических выключателей, выполненных в литом корпусе и способных максимально быстро работать, когда токи коротких замыканий еще даже не успели достичь своих максимальных значений.

Подобные скоростные автоматы работают в течение нескольких миллисекунд, когда еще действуют апериодические составляющие переходных процессов. В таких условиях из-за высокой динамичности протекания нагрузок сложно согласовать реально действующие времятоковые характеристики защит.

Конечный пользователь практически не может отследить характеристики энергетической селективности. Их предоставляет производитель в виде графиков, программ расчета, таблиц.

При этом способе для расцепителей терромагнитного и электронного принципа, расположенных на стороне питания необходимо учесть специфические условия работы.

Этот тип избирательности является разновидностью временной характеристики. Для его работы используются измерительные устройства тока на каждой стороне, между которыми постоянно происходит обмен информацией и сравнение векторов токов.

Зонная селективность может быть сформирована двумя способами:

1. В логическое устройство контроля защиты поступают одновременно сигналы с обоих концов контролируемого участка. Оно сравнивает значения поступивших токов и определяет выключатель, который должен быть отключен;

2. Сведения о завышенных значениях векторов тока от обеих сторон поступают в виде блокировочного сигнала на логическую часть защиты более высокого уровня иерархии по стороне питания. Если на ней

присутствует блокировочный сигнал снизу, то отключается нижерасположенный выключатель. Когда запрета на отключение снизу не поступило, то напряжение снимает вышерасположенная защита.

При этих способах отключение происходит намного быстрее, чем при временной избирательности. Это обеспечивает меньшие повреждения электрооборудования, снижение динамических и тепловых нагрузок внутри системы.

Однако, способ зонного разделения селективности требует создания дополнительных сложных технических систем измерения, логики и обмена информацией, что удорожает стоимость оборудования. По этим причинам такие методы, основанные на высокочастотной блокировке, применяются на высоковольтных линиях электропередач и подстанциях, передающих большие потоки мощности электроэнергии в непрерывном режиме.

Для этого используются быстродействующие воздушные, масляные или элегазовые выключатели, способные коммутировать огромные токовые нагрузки.

Перечень используемого оборудования:

Лабораторный стенд «Интеллектуальные электрические сети» ИЭС2 - СК

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- На лабораторной стойке «Модель электростанции №1» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №2.
- На лабораторной стойке «Модель электростанции №2» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №2. Подключить

модуль короткозамыкателя для создания трехфазного короткого замыкания на линии электропередачи W1.

- Включить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

- На персональном компьютере централизованного комплекса диспетчерского управления (ЦКДУ) запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Комплекс ДУ – Централизованная защита распределительной сети». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

- На персональном компьютере модели электростанции №1 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №1 – Централизованная защита распределительной сети». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

- На персональном компьютере модели электростанции №2 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №2 – Централизованная защита распределительной сети». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

- Дистанционно включить выключатели Q4 и Q6 электростанции №1 (щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме локального комплекса управления электростанции).

Аналогичным образом включить выключатели Q4 и Q6 на электростанции №2.

- На электростанции №1 перевести тумблер SA1 разрешения работы модуля преобразователя частоты в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, задать уставку по частоте 50Гц, соответствующую частоте вращения приводного двигателя 1500 об/мин. Включить тумблер «Сеть» источника возбуждения синхронного генератора. Изменяя положение потенциометра RP1 модуля возбуждения, установить номинальный ток возбуждения 0,8А. С мнемосхемы ПК подать команду на включение выключателя Q3. Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, восстановить номинальную частоту напряжения в сети 50 Гц.

- Аналогичным образом, ввести в работу энергоблок на электростанции №2.

- По показаниям на мнемосхеме ЦКДУ определить величину тока в линии электропередачи W1. Рассчитать ток срабатывания защиты. Открыть диалоговое окно настройки параметров централизованного комплекса релейной защиты и автоматики командой «Сеть — Защита — Централизованный комплекс РЗА распределительной сети». Ввести рассчитанные уставки срабатывания защит для линий электропередач W1 и W2.

- Дистанционно включить выключатель Q5 на электростанции №1 и №2. Включить централизованный комплекс релейной защиты и автоматики распределительной сети одноименным переключателем в окне параметров РЗА.

- На электростанции №2 переключатель SA1 модуля короткозамыкателя перевести в положение «Вкл» для создания режима короткого замыкания. При правильно выбранных уставках, должно произойти селективное отключение линии электропередачи W1.

Переключатель SA1 модуля короткозамыкателя перевести в положение «Откл».

- Отключить выключатель Q3 на электростанции №1. Снять ток возбуждения синхронного генератора, переводом потенциометра RP1 модуля возбуждения в крайнее левое положение. Остановить приводной двигатель переводом потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты в крайнее левое положение. Отключить переключатель «Сеть» модуля возбуждения. Переключатель SA1 разрешения работы модуля преобразователя частоты перевести в среднее положение.

- Аналогичным образом отключить энергоблок на электростанции №2.

- На ЦКДУ подать команды теле отключения всех выключателей в электроэнергетической системе. Отключить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

- Остановить работу программ управления на электростанциях №1 и №2 кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6. Аналогичным образом, остановить работу программы управления на ЦКДУ. Внимание! При останове работы программ на локальных комплексах управления электростанциями, программное обеспечение на ЦКДУ выдает сообщение, о том, что один из клиентов информационной сети был отключен. Это не является ошибкой.

- Оформить отчет по лабораторной работе.

Режим №2
Узел с генерацией мощности и нагрузки

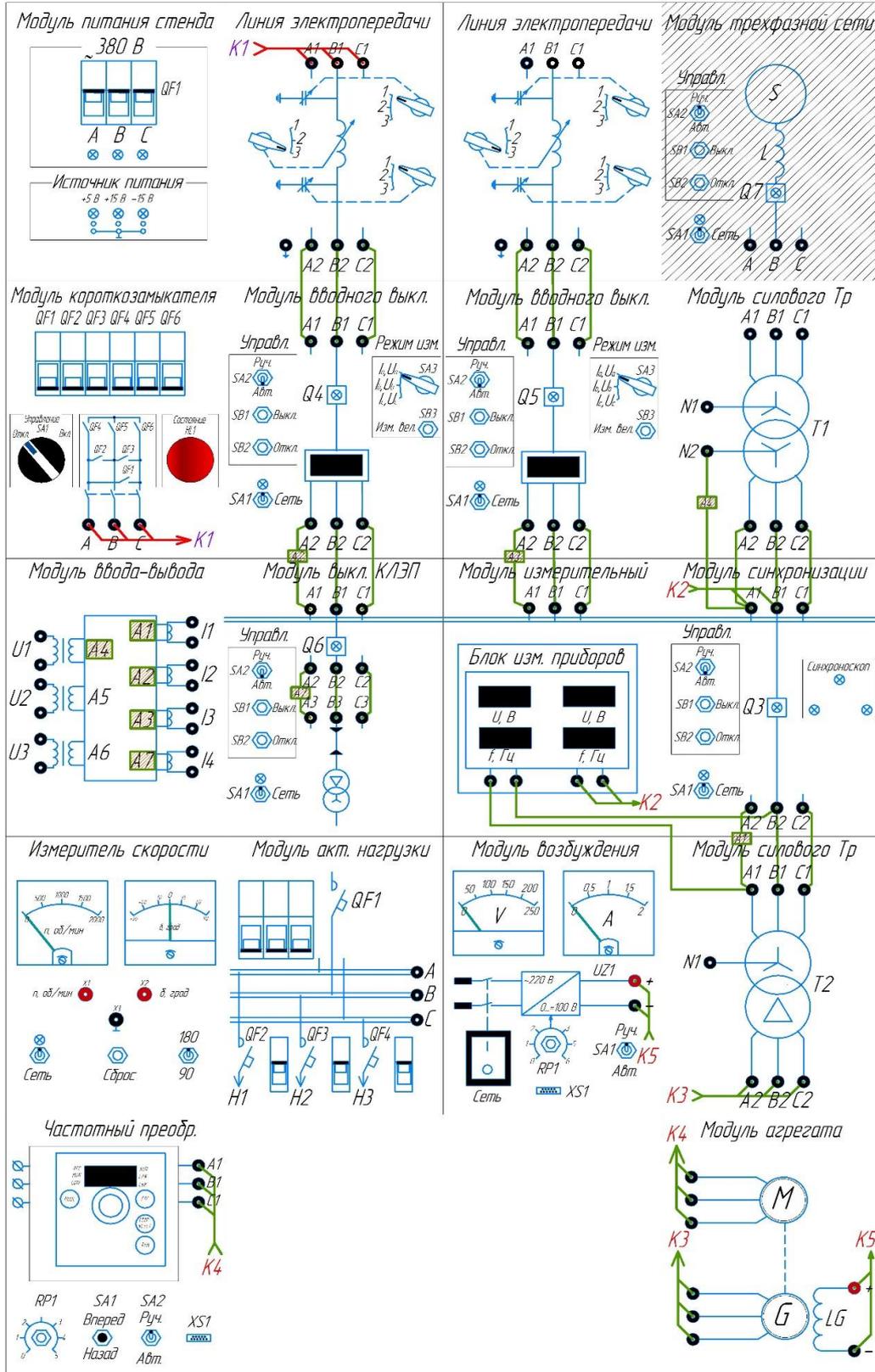


Рисунок 5.1 – схема соединения лабораторной стойки №1 и №2

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Направленная защита от ОЗЗ по основной гармонике.
2. Неселективная защита, реагирующая на напряжение нулевой последовательности.
3. Защита однофазных замыканий на землю.

Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:

Перечень основной литературы:

1. Зарандия, Ж.А. Основные вопросы технической эксплуатации электрооборудования : учебное пособие / Ж.А. Зарандия, Е.А. Иванов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. - 129 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-8265-1386-6 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445120>

Перечень дополнительной литературы:

1.Привалов Е.Е. Эксплуатация воздушных линий электропередач : учебное пособие / Е.Е. Привалов. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 130 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3884-2; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434748>