

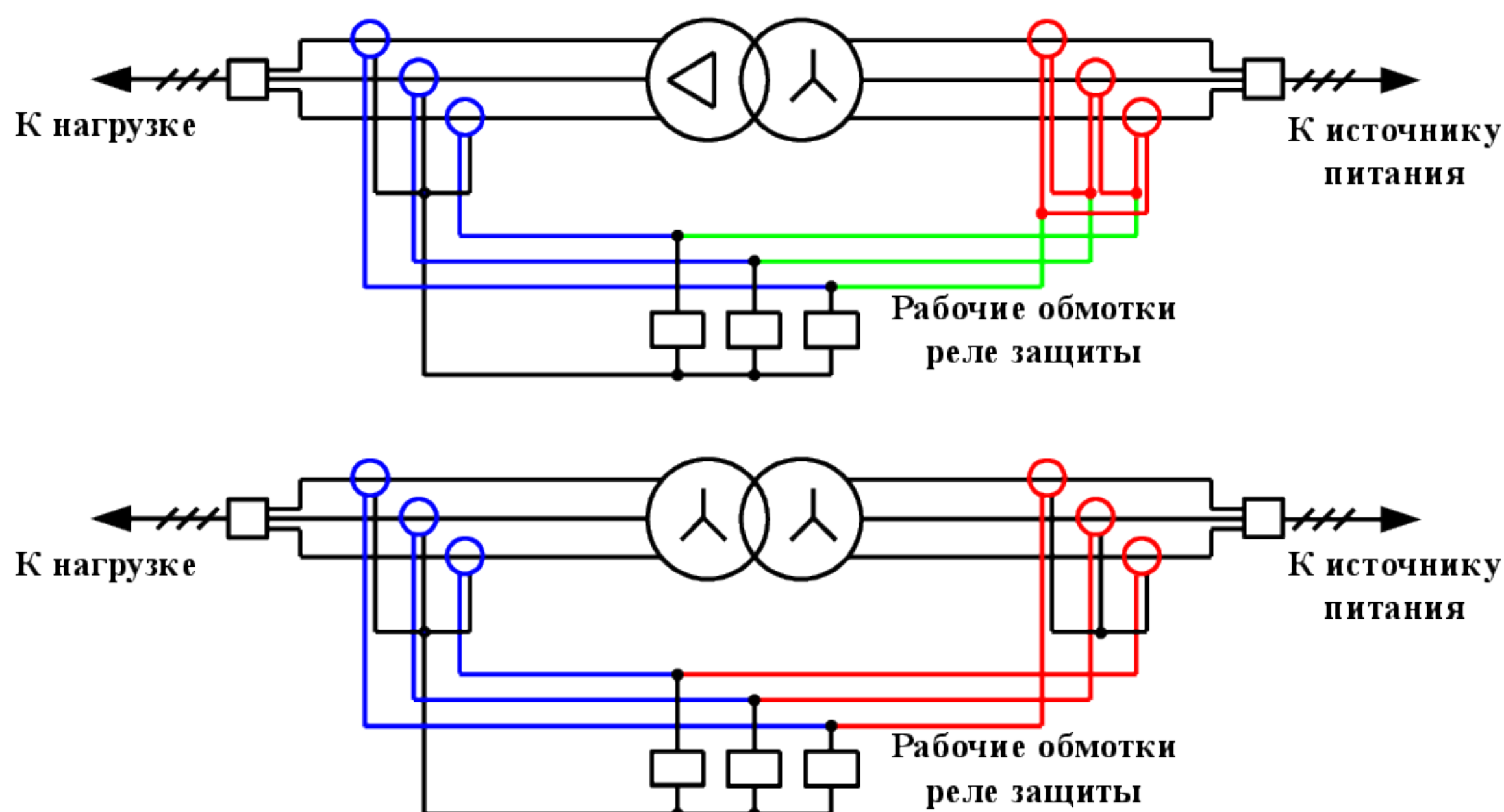
Выравнивание первичного и вторичного токов защищаемого трансформатора с соединением обмоток звезда-треугольник по фазе осуществляется соединением в треугольник вторичных обмоток трансформаторов тока, устанавливаемых со стороны звезды силового трансформатора. Соединение в треугольник обмоток трансформаторов тока должно точно соответствовать соединению в треугольник обмоток силового трансформатора. Трансформаторы тока, расположенные на стороне треугольника силового трансформатора, соединяются в звезду.

Выравнивание величин вторичных токов в плечах дифференциальной защиты достигается подбором коэффициентов трансформации трансформаторов тока дифференциальной защиты и параметров специально для этой цели устанавливаемых трансформаторов или автотрансформаторов.

Величина тока небаланса в дифференциальной защите трансформаторов оказывается обычно большей, чем в дифференциальной защите линий и шин, что объясняется наличием дополнительных составляющих в токе небаланса. Еще одним фактором, влияющим на работу дифференциальной защиты, являются броски тока намагничивания при включении трансформатора под напряжение.

Применение быстронасыщающихся трансформаторов (БНТ) позволяет выполнить простую и быстродействующую дифференциальную защиту, надежно отстроенную от токов небаланса и бросков токов намагничивания.

В дифференциальных защитах, установленных на трансформаторах с регулированием напряжения под нагрузкой или многообмоточных трансформаторах с несколькими питающими обмотками, токи небаланса в установившемся режиме имеют значительную величину. В этих случаях дифференциальная защита с реле, включенными через БНТ, получается малочувствительной. Чувствительность дифференциальной защиты в указанных случаях может быть повышена путем применения дифференциальных реле с торможением.



В данном эксперименте моделируется трансформатор (см. рис), обмотки которого могут иметь схему соединения звезда-звезда или звезда-треугольник. Одна сторона трансформатора подключена к источнику питания, другая – к нагрузке. С обеих сторон трансформатора включены измерительные трансформаторы тока и трехполосные выключатели. Существует возможность устраивать короткие замыкания на выводах трансформатора и на шинах нагрузки.

На компьютере с помощью специальной программы моделируется дифференциальная защита трансформатора. Защита настраивается под нужное соединение и напряжение обмоток силового трансформатора. Также защита может работать с торможением от тока внешнего КЗ или без него. При срабатывании защита воздействует на оба выключателя.

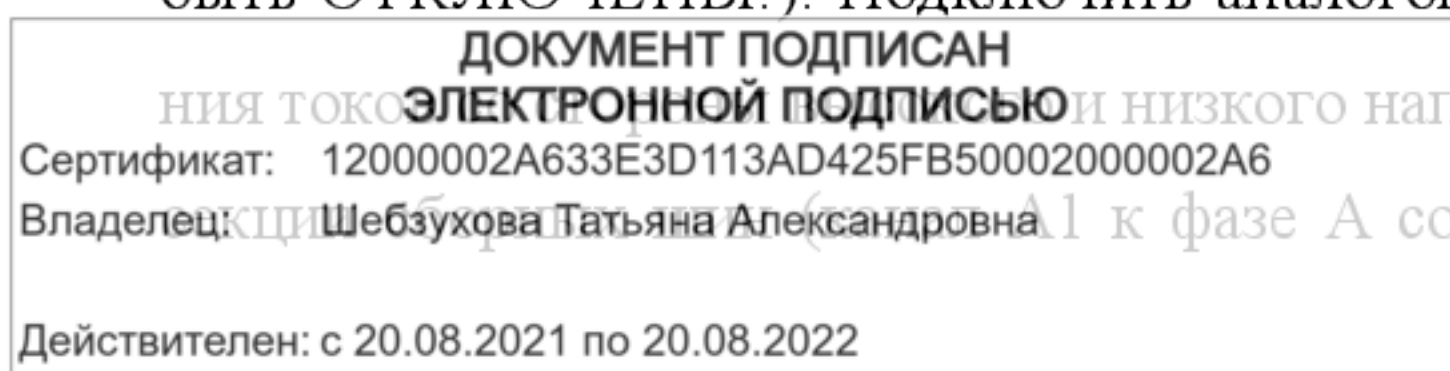
При правильно собранной схеме и корректно выбранных уставках защита должна срабатывать при замыкании в ее зоне действия и не должна действовать при КЗ на выводах нагрузки.

Указание по технике безопасности:

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

Указания по выполнению лабораторной работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 4 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Подключить аналоговые каналы модуля ввода-вывода для измерения



напряжения силового трансформатора на первой стороне ВН, А2 к фазе А со стороны НН).

Модуль выключателя короткозамыкателя QK3 с одной стороны подключить к модулю короткозамыкателя, а с другой стороны — к клеммам A1, B1, C1 модуля выключателя кабельной ЛЭП первой секции сборных шин. Перевести переключатели SA1 модуля трехфазной сети, SA2 вводного выключателя, выключателя кабельной ЛЭП, двигательной нагрузки и секционного выключателя в положение «Авт». Перевести переключатели SA3 модулей вводного выключателя и выключателя короткозамыкателя в верхнее положение. Включить автоматические выключатели QF1..QF3 на лицевой панели модуля короткозамыкателя. Включить автоматические выключатели QF1.. QF4 на модулях активной нагрузки. Включить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда. Включить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи питания SA1 «Сеть».

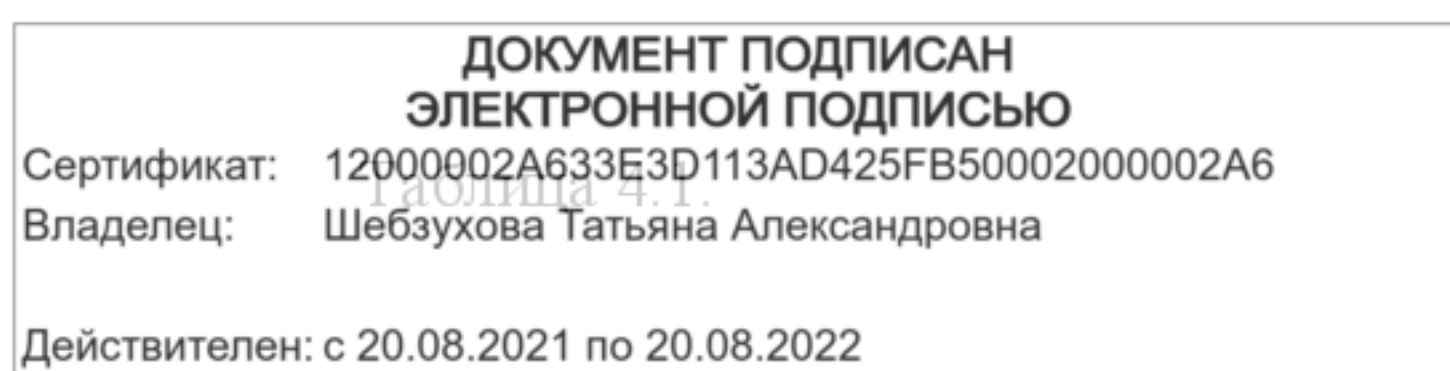
2) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск — Программы — Лабораторный комплекс — DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы — Релейная защита и автоматика — Работа №04 Дифференциальная защита трансформатора».

3) В программе «DeltaProfi» перевести защиту ДЗТ в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗТ», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»),

4) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

5) Дистанционно включить выключатель Q1 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q1». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый — отключен, красный - включен). Аналогичным образом включить выключатели Q3, Q5, Q6, Q7 и Q8. При этом, на мнемосхеме отображаются мгновенные значения токов во вторичных обмотках измерительных трансформаторов, пропорциональные токам первичной I1 и вторичной I2 обмоток защищаемого трансформатора. Занести данные значения в таблицу 4.1.

6) Создать внешнее трехфазное короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. Определить значения токов первичной и вторичной обмоток трансформатора в режиме внешнего короткого замыкания $I_{1к}$ и $I_{2к}$. Занести данные значения в таблицу 4.1. Отключить выключатель короткозамыкателя.



Параметр	Значение
Ток нагрузки со стороны ВН I_1 , А	
Ток нагрузки со стороны НН I_2 , А	
Ток внешнего короткого замыкания со стороны ВН $I_{1К}$, А	
Ток внешнего короткого замыкания со стороны НН $I_{2К}$, А	
Ток срабатывания реле $I_{ср}$, А	
Число витков 2 уравнивающей обмотки $\omega_{осн.} = \omega_{ур. 2}$	
Число витков 1 уравнивающей обмотки $\omega_{неосн.} = \omega_{ур. 1}$	
Расчетное значение тока небаланса $I_{НБ.РАСЧ.}$, А	
Число витков тормозной обмотки $\omega_{торм.}$	

7) Рассчитать ток срабатывания реле по формуле:

$$I_{ср} = \frac{k_{отстр.} \cdot I_2}{n_{ТА1}}$$

Коэффициент отстройки $k_{отстр.}$ принять равным 1,5;

Коэффициент трансформации $n_{ТА1}$ трансформатора тока ТА1 принять равным 0,1.

Занести значение тока срабатывания реле в таблицу 1.4.

8) Определить расчетное число витков 2^й уравнивающей обмотки для основной стороны (сторона НН) по формуле:

$$\omega_{осн. расч.} = \frac{100}{I_{ср}}.$$

Выбрать число витков 2^й уравнивающей обмотки $\omega_{осн.} = \omega_{ур. 2}$, как ближайшее целое значение, занести его в таблицу 1.4.

9) Определить расчетное число витков 1^й уравнивающей обмотки для неосновной стороны (сторона ВН) по формуле:

$$\omega_{неосн. осн.} = \frac{\omega_{осн. расч.} \cdot I_{осн.}}{I_{неосн.}} = \omega_{осн. расч.} \cdot \frac{I_2}{I_1}$$

Выбрать число витков 1^й уравнивающей обмотки $\omega_{неосн.} = \omega_{ур. 1}$ как ближайшее меньшее целое значение, занести его в таблицу 1.4.

10) Определить расчетное значение тока небаланса по формуле:

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$I'_{НБ} + I''_{НБ} = (I_{1К} - I_{2К}) + \frac{\omega_{неосн. расч.} - \omega_{неосн.}}{\omega_{неосн.}} \cdot I_{2К}$$

Занести данное значение в таблицу 1.4.

11) Определить расчетное число витков тормозной обмотки по формуле:

$$\omega_{\text{торм. расч.}} = k_{\text{отстр.}} \cdot \frac{I_{\text{НБ. РАСЧ.}} \cdot \omega_{\text{неосн. расч.}}}{I_{2К} \cdot \text{tg} \alpha}$$

Принять $\text{tg} \alpha = 0,75$

Коэффициент отстройки $k_{\text{отстр.}}$ принять равным 1,5;

Выбрать число витков тормозной обмотки $\omega_{\text{торм.}}$ как ближайшее целое из возможных значений уставок реле ДЗТ-11, занести его в таблицу 1.4.

12) В настройках параметров защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗТ») задать рассчитанные значения чисел витков тормозной и уравнительных обмоток. Перевести защиту в режим действия на отключение.

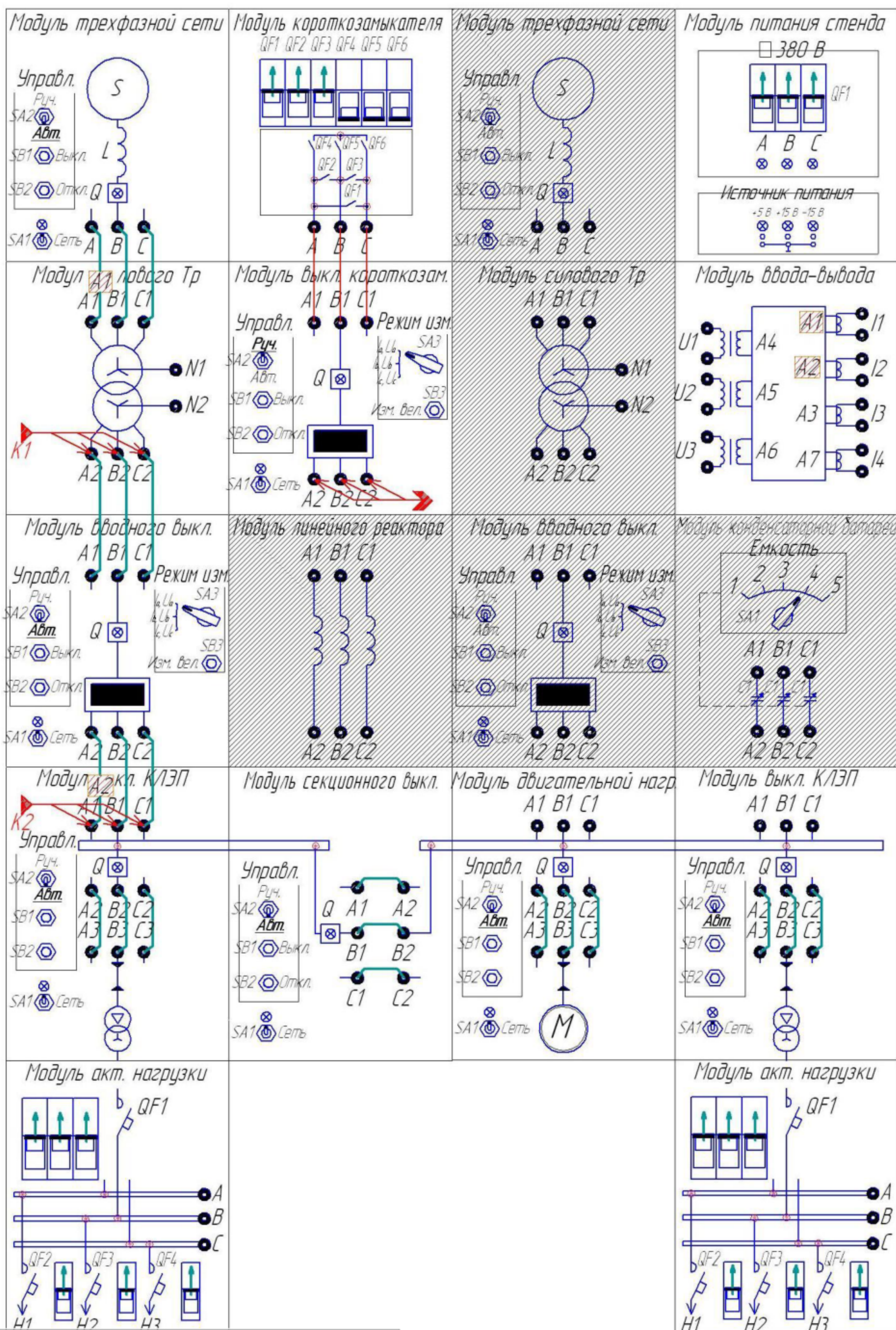
13) Создать внешнее короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. Убедится в том, что защита не срабатывает при внешнем коротком замыкании. Отключить выключатель короткозамыкателя. Отключить все выключатели. Отключить питание стенда. Изменить точку подключения выключателя короткозамыкателя для создания короткого замыкания на стороне НН силового трансформатора первой секции сборных шин (клеммы А2, В2, С2 модуля силового трансформатора). Включить питание стенда. Включить выключатели Q1, Q3, Q5, Q6, Q7 и Q8.

14) Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. При правильно выбранных уставках, защита срабатывает, отключая выключатели Q1 и Q3.

15) Отключить все выключатели. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6. Отключить питание стенда.

16) Сделать выводы о селективности действия защиты. Объяснить, почему защита не срабатывает при внешнем коротком замыкании несмотря на значительное увеличение тока. Оформить отчет по лабораторной работе.

Примечание: Для грубого выравнивания вторичных токов измерительных трансформаторов тока ТА1 и ТА3 можно использовать различные коэффициенты трансформации, значения которых доступны в окне настроек защиты. Это может потребоваться в случаях, когда неравенство токов плеч дифференциальной защиты невозможно компенсировать только выбором соответствующего числа витков уравнительных обмоток.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

трансформатора. Схема электромонтажная

3. Как осуществляется компенсация неравенства величин токов со сторон высшего и низшего напряжений при выполнении дифференциальной защиты силового трансформатора?
4. Почему дифференциальная защита не реагирует на токи нагрузки, токи внешних коротких замыканий и токи асинхронных качаний в электросистеме?
5. В каком токовом режиме работы защищаемого объекта ток небаланса будет иметь максимальное значение?
6. Каково быстродействие дифференциальной защиты трансформаторов?
7. Из-за чего возникают составляющие тока небаланса, циркулирующего в измерительной части дифференциальной продольной защиты реальных современных трансформаторов?
8. В каких цепях и элементах измерительной части протекает ток небаланса дифференциальной защиты силовых трансформаторов?

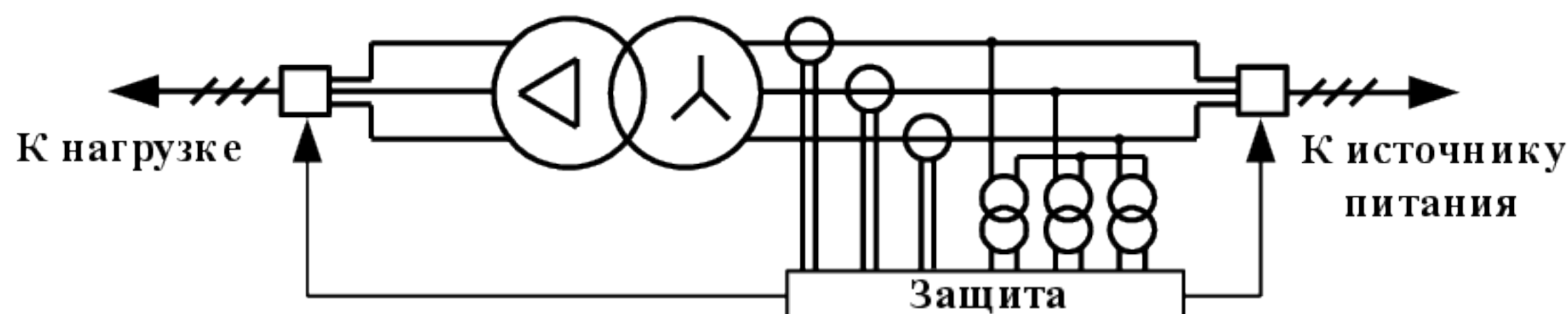
Лабораторная работа №13. Токовая защита трансформатора.

Цель работы: Изучить особенности расчета установок, селективности и зоны срабатывания токовой отсечки и максимальной токовой защиты трансформатора, изучить особенности расчета установок защиты от перегрузки силового трансформатора.

Основы теории:

Защита от внешних коротких замыканий (КЗ) служит для отключения трансформатора при КЗ на сборных шинах или на отходящих от нее присоединениях, если защиты или выключатели этих элементов отказали в работе. Одновременно защита от внешних КЗ используется и для защиты от повреждения в трансформаторе.

Наиболее простой защитой от внешних КЗ является токовая максимальная защита. В тех случаях, когда ее чувствительность оказывается недостаточной, применяются более чувствительные токовые максимальные защиты с пуском по напряжению или же токовые защиты обратной и нулевой последовательности.



В данном эксперименте моделируется понижающий силовой трансформатор (см. рис), подключенный через трехполюсные выключатели одной своей стороной к источнику питания, а другой – к нагрузке. В цепь первичной обмотки трансформатора включены трансформаторы тока и напряжения. Имеется возможность устраивать короткое замыкание любого вида на выводах вторичной обмотки трансформатора.

С помощью специальной программы на компьютере моделируется максимальная токовая защита трансформатора, которая может иметь или не иметь блокировку по напряжению. Защита действует одновременно на оба выключателя.

При правильно собранной схеме и корректно выбранных уставках защита должна действовать на отключение при вышеуказанных коротких замыканиях.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН	
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Указания по выполнению лабораторной работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 5 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Для снижения токов короткого замыкания, между модулем трехфазной сети и модулем силового трансформатора необходимо включить модуль линейного реактора LR. Подключить аналоговые каналы модуля ввода-вывода для измерения фазных токов со стороны высокого напряжения силового трансформатора на первой секции сборных шин (канал A1 к фазе А, A2 к фазе С). Вход модуля выключателя короткозамыкателя QK3 подключить к модулю короткозамыкателя, а выход — к клеммам A1, B1, C1 модуля выключателя кабельной ЛЭП первой секции сборных шин. Перевести переключатели SA1 модуля трехфазной сети, SA2 вводного выключателя, выключателя кабельной ЛЭП, двигательной нагрузки и секционного выключателя в положение «Авт». Перевести переключатели SA3 модулей вводного выключателя и выключателя короткозамыкателя в верхнее положение. Включить автоматические выключатели QF1..QF3 на лицевой панели модуля короткозамыкателя. Включить автоматические выключатели QF1.. QF4 на модулях активной нагрузки. Включить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда. Включить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи питания SA1 «Сеть».

2) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы — Лабораторный комплекс — DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы — Релейная защита и автоматика - Работа №05 Токовая защита трансформатора».

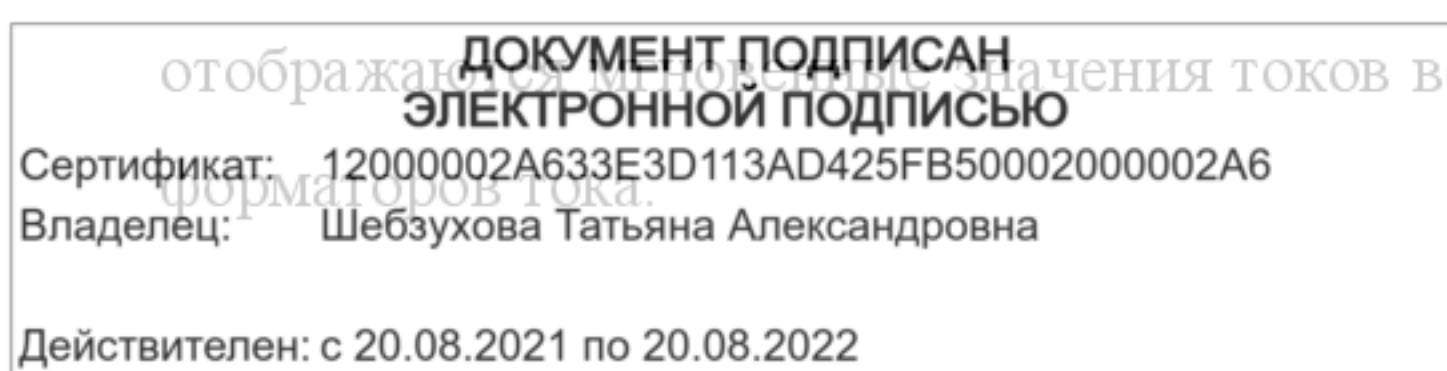
3) В программе «DeltaProfi» перевести защиты ТО, МТ31, МТ32 в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольниках «ТО», «МТ31», «МТ32», в диалоговых окнах установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

4) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление — Пуск» или горячей клавишей F5.

ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА БЕЗ ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

5) Дистанционно включить выключатель Q1 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q1». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый — отключен, красный - включен). Аналогичным образом включить выключатели Q3, Q5, Q6 и Q8. При этом на мнемосхеме

отображаются значения токов во вторичных обмотках измерительных транс-



6) Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. Определить значение тока во вторичной обмотке измерительного трансформатора тока ТА1 $I_{кз}$, пропорциональное току короткого замыкания. Отключить короткое замыкание. Рассчитать ток срабатывания отсечки по формуле:

$$I_{с.з.} = I_{кз} \cdot k_{отс.}$$

Коэффициент отстройки принять равным $k_{отс.} = 1,2$.

В настройках параметров защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ТО») ввести рассчитанный ток срабатывания защиты. Диалоговое окно закрыть.

7) Определить значение тока во вторичной обмотке измерительного трансформатора тока ТА1 $I_{раб. max}$, пропорциональное максимальному току нагрузки силового трансформатора. Рассчитать ток срабатывания защиты МТЗ1 по формуле:

$$I_{с.з.} = \frac{k_n \cdot k_z}{k_v} \cdot I_{раб. max}$$

Коэффициент надежности принять равным $k_n = 1,2$.

Коэффициент запуска двигательной нагрузки принять равным $k_z = 1$. Коэффициент возврата реле тока принять равным $k_v = 0,95$.

В настройках параметров защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ1») ввести рассчитанный ток срабатывания защиты. Диалоговое закрыть.

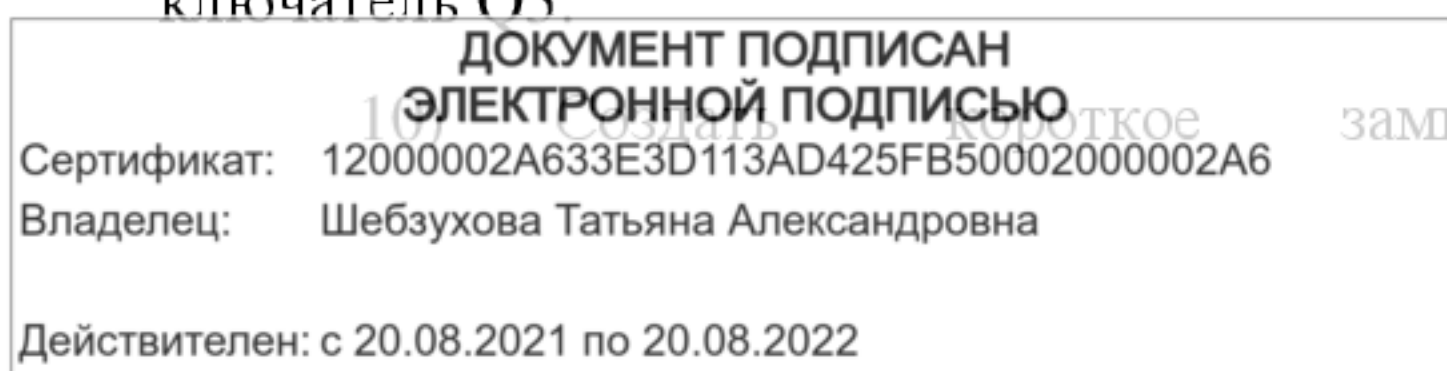
8) Отключить выключатель Q5. Определить значение тока во вторичной обмотке измерительного трансформатора тока ТА1 $I_{раб.}$, пропорциональное току нагрузки силового трансформатора в нормальном режиме. Рассчитать ток срабатывания защиты МТЗ2 по формуле:

$$I_{с.з.} = I_{кз} \cdot k_{отс.}$$

Коэффициент отстройки принять равным $k_{отс.} = 1,1$.

В настройках параметров защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ2») ввести рассчитанный ток срабатывания защиты. Диалоговое окно закрыть.

9) Перевести защиты «ТО» и «МТЗ1» в режим действия на отключение (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольниках «ТО» и «МТЗ1», в диалоговых окнах установить переключатель «Режим работы» в положение «отключение»). Включить выключатель Q5.



короткозамыкателя. При правильно выбранных уставках, срабатывает вторая ступень защиты - «МТЗ1», отключающая выключатель Q1 с выдержкой времени, заданной по условиям селективности. Сбросить состояние указательного реле «МТЗ1».

11) Отключить выключатель короткозамыкателя. Отключить все выключатели. Отключить питание стенда. Изменить точку подключения выключателя короткозамыкателя для создания короткого замыкания на стороне ВН силового трансформатора первой секции сборных шин (выводы А1, В1, С1 модуля силового трансформатора). Включить питание стенда. Включить выключатели Q1, Q3, Q5, Q6, и Q8.

12) Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. При правильно выбранных уставках, срабатывает первая ступень защиты - «ТО», отключающая выключатель Q1 без выдержки времени. Сбросить состояние указательного реле «ТО». Отключить выключатель короткозамыкателя. Включить выключатель Q1.

13) Перевести защиту «МТЗ2» в режим действия на отключение. При правильно выбранных уставках с выдержкой времени сработает третья ступень защиты — защита от перегрузки «МТЗ2».

Примечание: в опыте «Перегрузка трансформатора» ток $I_{\text{раб. max}}$ считаем током перегрузки.

ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА С ВКЛЮЧЕНИЕМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

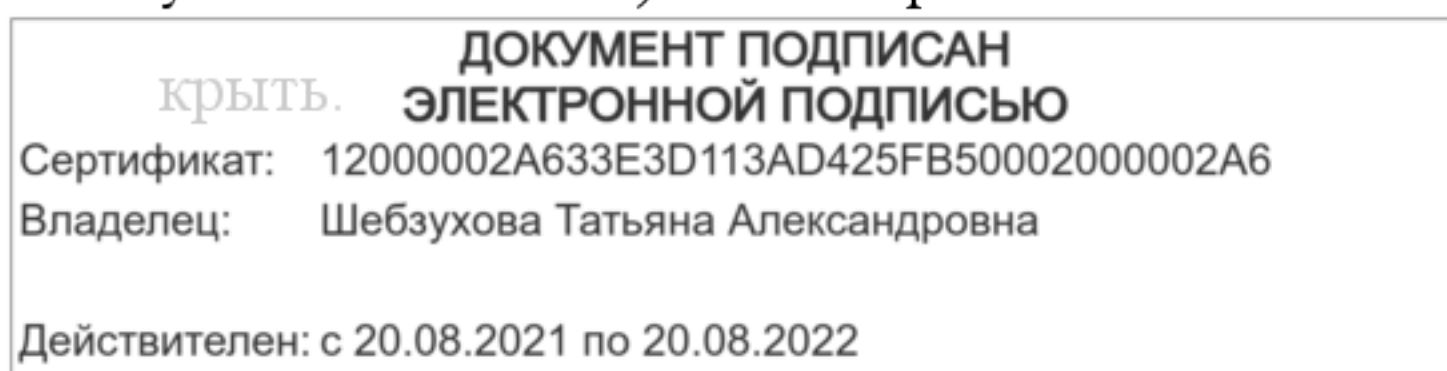
5.1.) Перевести защиты ТО, МТЗ1, МТЗ2 в режим работы «действие на сигнал». Дистанционно включить выключатели Q1, Q3, Q5, Q6, Q7 и Q8. При этом на мнемосхеме отображаются мгновенные значения токов во вторичных обмотках измерительных трансформаторов тока.

6.1.) Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. Определить значение тока во вторичной обмотке измерительного трансформатора тока ТА1 $I_{\text{кз}}$, пропорциональное току короткого замыкания. Отключить короткое замыкание. Рассчитать ток срабатывания отсечки по формуле:

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{кз}} \cdot k_{\text{отс.}}$$

Коэффициент отстройки принять равным $k_{\text{отс.}} = 1,2$.

В настройках параметров защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ТО») ввести рассчитанный ток срабатывания защиты. Диалоговое окно за-



7.1.) Определить значение тока во вторичной обмотке измерительного трансформатора тока ТА1 $I_{\text{раб. max}}$, пропорциональное максимальному току нагрузки силового трансформатора. Рассчитать ток срабатывания защиты МТ31 по формуле:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{k_n \cdot k_z}{k_e} \cdot I_{\text{раб. max}}$$

Коэффициент надежности принять равным $k_n = 1,2$.

Коэффициент запуска двигательной нагрузки принять равным $k_z = 1,25$. Коэффициент возврата реле тока принять равным $k_e = 0,95$.

В настройках параметров защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТ31») ввести рассчитанный ток срабатывания защиты. Диалоговое окно закрыть.

8.1.) Отключить выключатель Q5. Определить значение тока во вторичной обмотке измерительного трансформатора тока ТА1 $I_{\text{раб.}}$, пропорциональное току нагрузки силового трансформатора в нормальном режиме. Рассчитать ток срабатывания защиты МТ32 по формуле:

$$I_{\text{с.з.}} = I_{\text{кз}} \cdot k_{\text{отс.}}$$

Коэффициент отстройки принять равным $k_{\text{отс.}} = 1,1$.

В настройках параметров защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТ32») ввести рассчитанный ток срабатывания защиты. Диалоговое окно закрыть.

9.1.) Перевести защиты «ТО» и «МТ31» в режим действия на отключение (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольниках «ТО» и «МТ31», в диалоговых окнах установить переключатель «Режим работы» в положение «отключение»). Включить выключатель Q5.

10.1.) Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. При правильно выбранных уставках, срабатывает вторая ступень защиты - «МТ31», отключающая выключатель Q1 с выдержкой времени, заданной по условиям селективности. Сбросить состояние указательного реле «МТ31».

11.1.) Отключить выключатель короткозамыкателя. Отключить все выключатели. Отключить питание стенда. Изменить точку подключения выключателя короткозамыкателя для создания короткого замыкания на стороне ВН силового трансформатора первой секции сборных шин (выводы А1, В1, С1 модуля силового трансформатора). Включить пи-

тание ст

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

краткозамыкателя. При правильно выбранных уставках, срабатывает первая ступень защиты - «ТО», отключающая выключатель Q1 без выдержки времени. Сбросить состояние указательного реле «ТО». Отключить выключатель краткозамыкателя. Включить выключатель Q1.

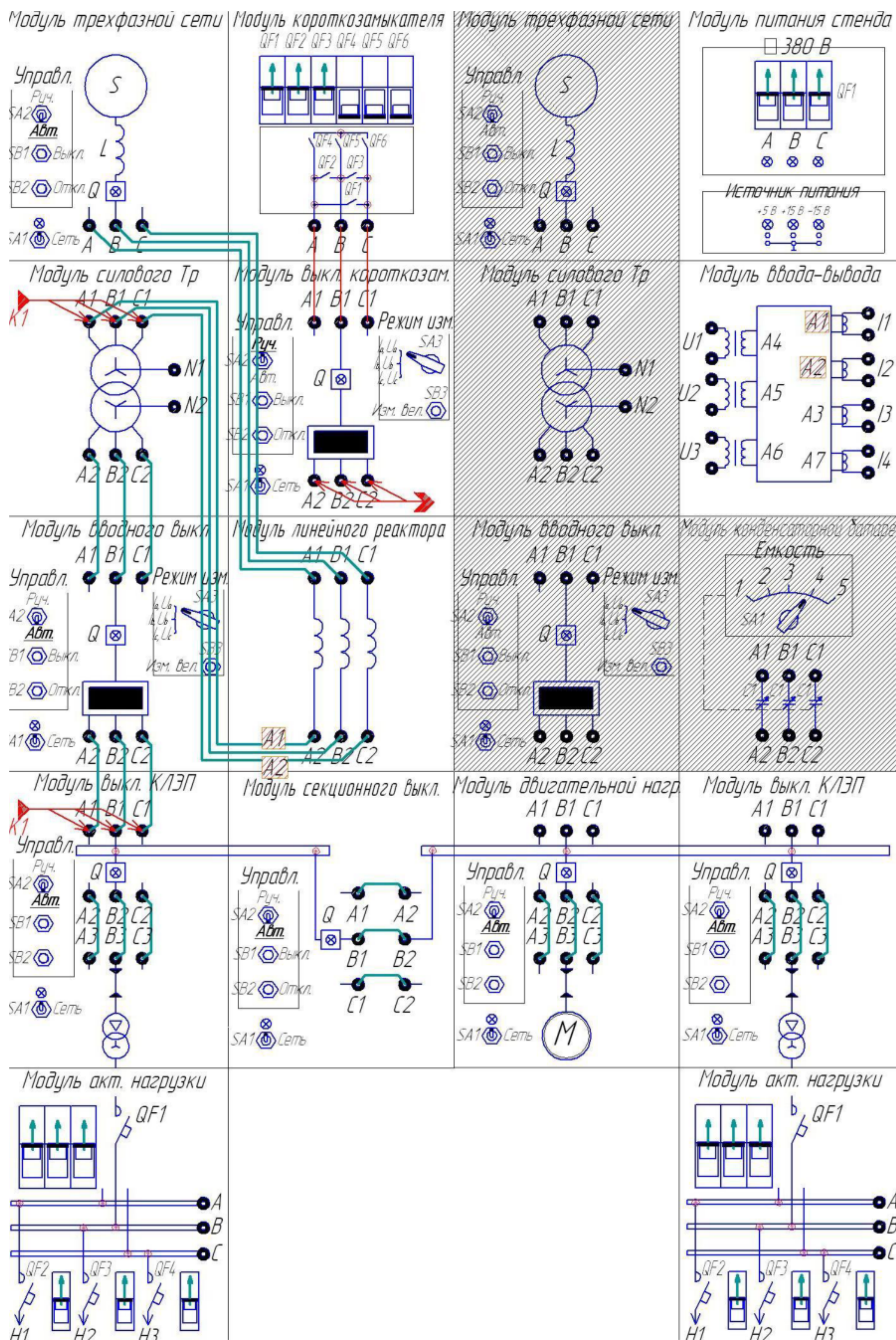
13.1.) После выхода электродвигателя на номинальный режим перевести защиту «МТ32» в режим действия на отключение (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольник «МТ32», в диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «отключение»).

При правильно выбранных уставках с выдержкой времени сработает третья ступень защиты — защита от перегрузки «МТ32».

Примечание: в опыте «Перегрузка трансформатора» ток $I_{\text{раб. max}}$ считаем током перегрузки.

14) Отключить все выключатели. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление — Стоп» или горячей клавишей F6. Отключить питание стенда.

15) Сделать выводы о селективности действия защит. Объяснить, почему при коротком замыкании на сборных шинах не срабатывает токовая отсечка. Оформить отчет по лабораторной работе.



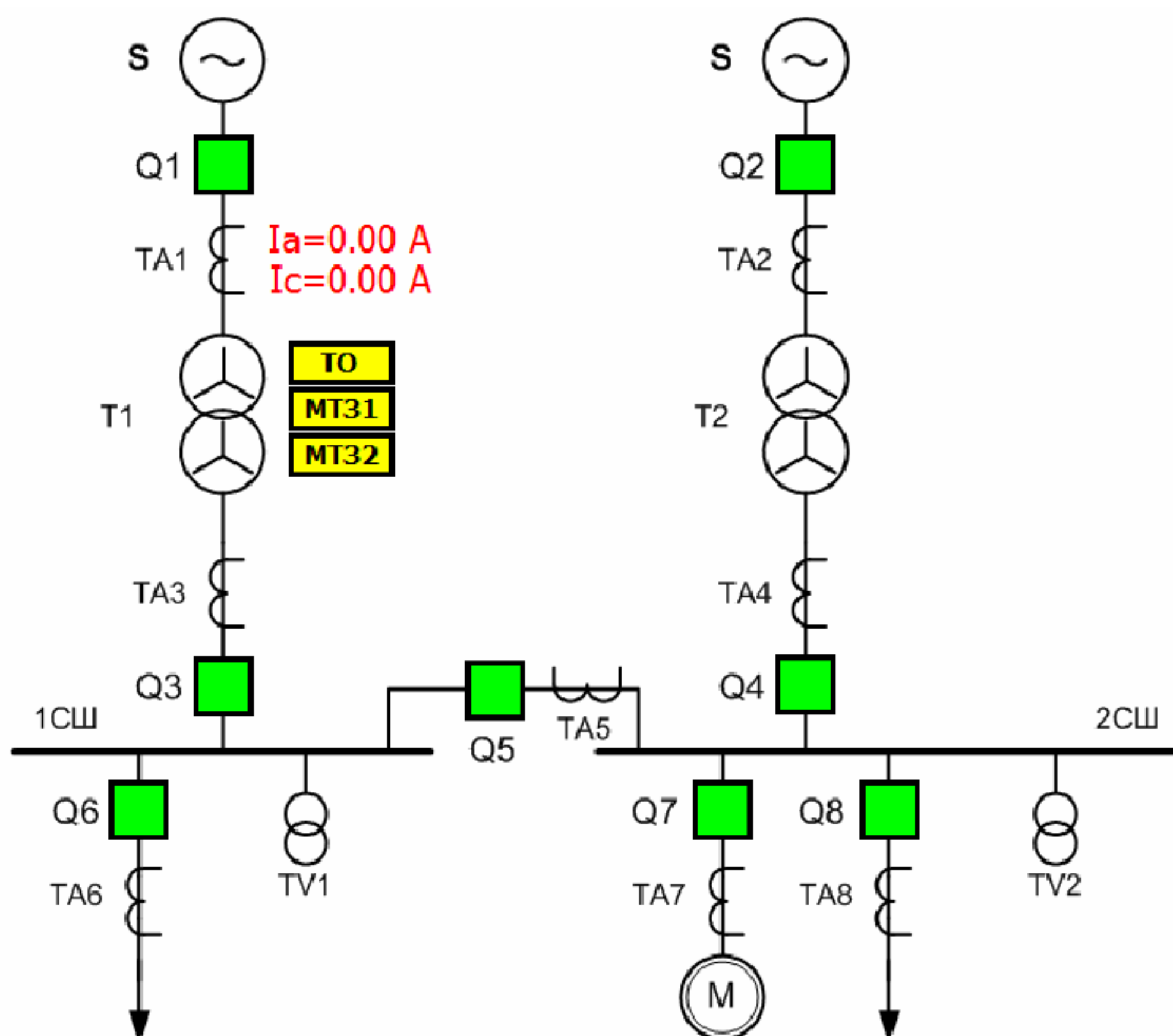
Токовая защита трансформатора. Схема электромонтажная

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022



Токовая защита трансформатора. Мнемосхема

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. Какие требования предъявляются к трансформаторам тока в устройствах релейной защиты?
2. Как определить однополярные выводы обмоток трансформатора?

3. Какие требования предъявляются к трансформаторам тока в устройствах релейной защиты?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. К чему может привести включение в схемы защиты трансформатора тока с неправильно обозначенной полярностью выводов обмоток?
5. Каково назначение нейтрального провода в схеме полной звезды?
6. Что такое коэффициент схемы и почему его нужно учитывать при определении тока срабатывания реле?
7. Какие схемы соединения обмоток трансформаторов тока используются в защитах от многофазных КЗ?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

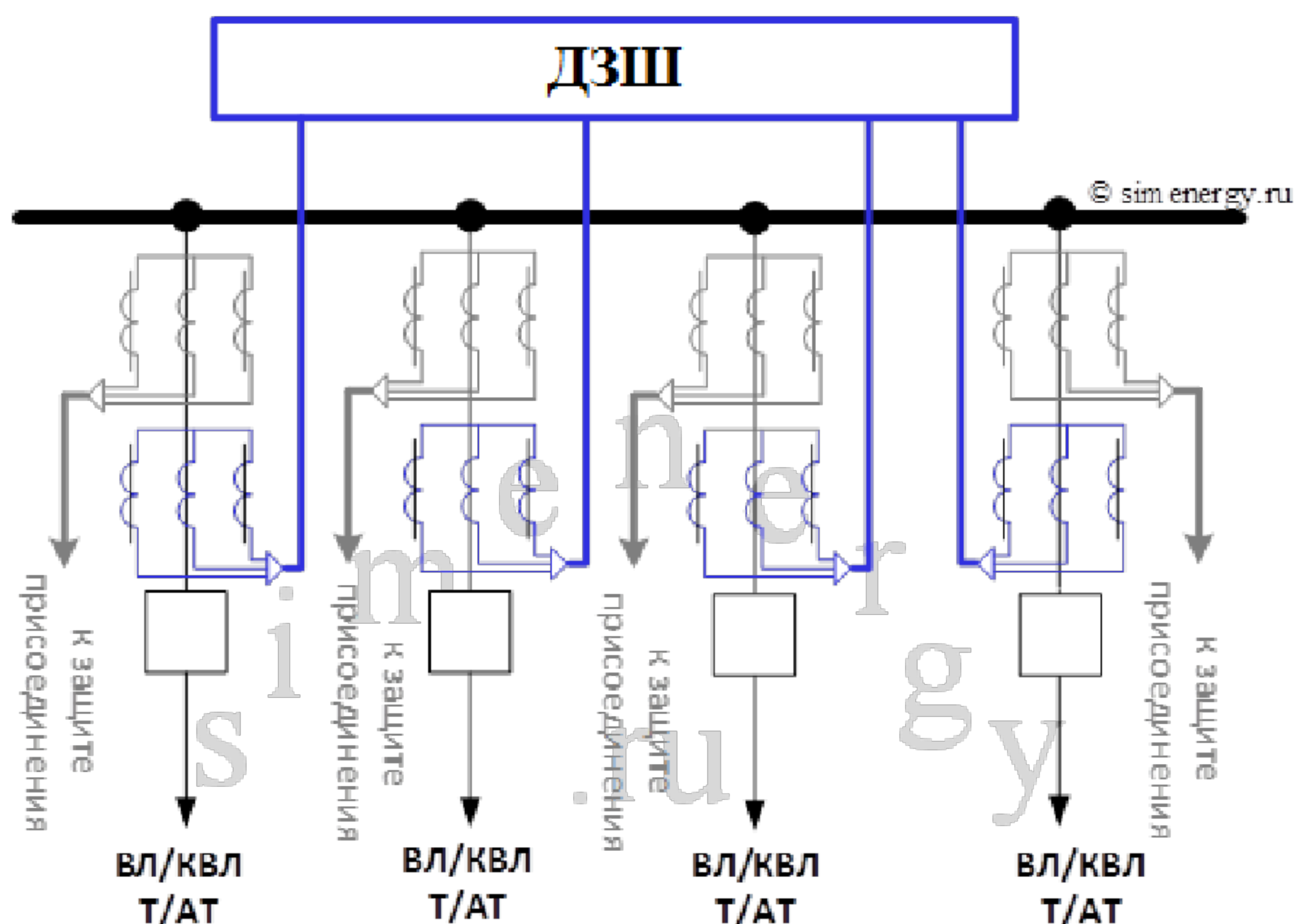
Лабораторная работа №14. Дифференциальная защита сборных шин

Цель работы: Изучить принцип действия дифференциальной защиты шин, исследовать факторы, влияющие на селективность, зону действия и чувствительность защиты.

Основы теории:

Дифференциальная токовая защита шин (ДЗШ) – это быстродействующая защита с абсолютной селективностью, которая используется для защиты шин классом напряжения 110 кВ и выше. В распределительных устройствах более низкого напряжения используются логическая защита шин и дуговая защита шин.

Дифференциальная токовая защита шин предназначена для быстрого отключения присоединений, подключенных на сборные шины, при коротких замыканиях на сборных



ДЗШ охватывает все элементы распределительного устройства, присоединенные к секции шин, и действует без замедления при всех видах коротких замыканий (КЗ) на отключение выключателей этих элементов с пуском их УРОВ и запретом их АПВ при неуспешном АПВ шин.

Токовые цепи ДЗШ всегда выполняются в трехфазном исполнении, а трансформа-

торы тока присоединяются по схеме полной звезды. Защита подключается к обмоткам трансформаторов тока таким образом, что бы ее зона действия максимально перекрывалась с зонами действия защит присоединений. При подключении устройства защиты

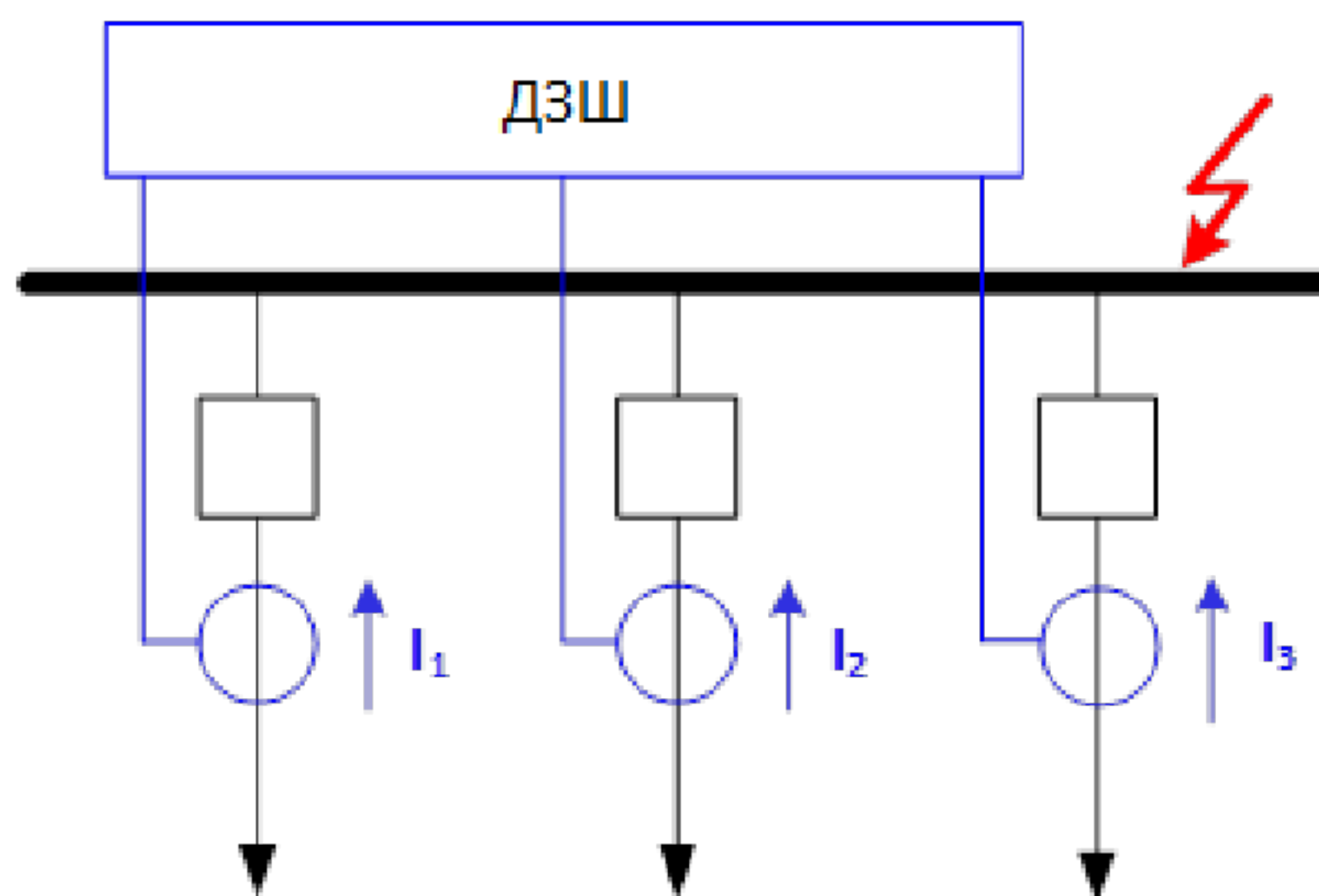
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

к ТТ присоединений за положительное направление токов принимают их направление в сторону защищаемого объекта («в шины»). Таким образом, зона действия защиты ДЗШ ограничивается трансформаторами тока, к которым подключена защита.

Каждое присоединение формирует так называемое «плечо» дифференциальной защиты. Для всех «плеч» дифференциальной защиты необходимо либо применять трансформаторы тока с одинаковыми коэффициентами трансформации, либо применять меры по выравниванию токов в «плечах» дифференциальной защиты: использовать промежуточные трансформаторы тока для выравнивания токов в «плечах» защиты. В современных микропроцессорных устройствах предусматривается программное выравнивание коэффициентов трансформации трансформаторов тока в «плечах» защиты.

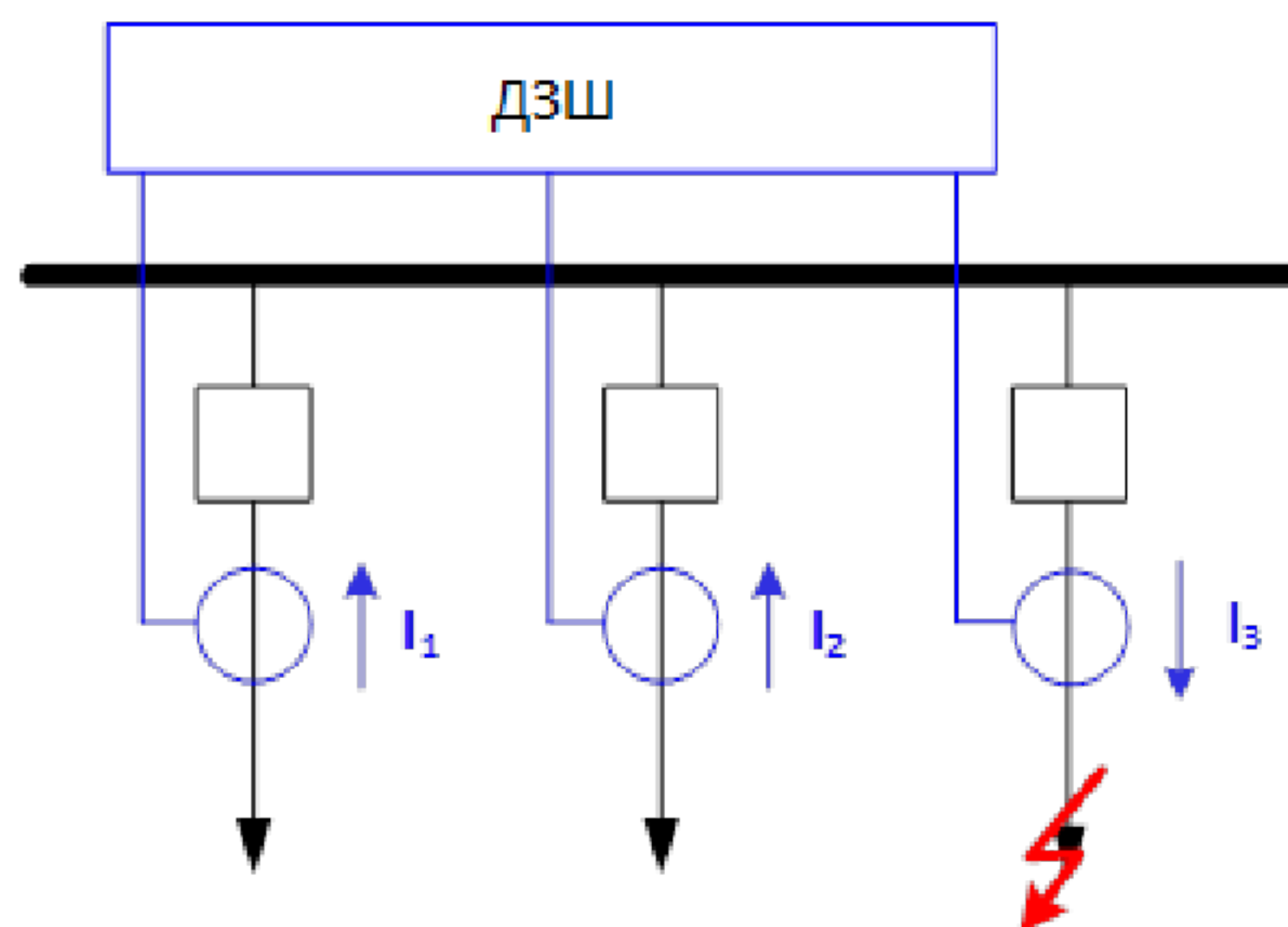
Принцип действия защиты ДЗШ основан на измерении дифференциального тока, который представляет собой геометрическую (векторную) сумму токов от трансформаторов тока всех присоединений, зафиксированных на данной системе шин (ошиновки).

При коротком замыкании в зоне действия защиты шин (или ошиновки) по всем присоединениям ток короткого замыкания направлен к месту короткого замыкания.



При достижении дифференциального тока уставки срабатывания происходит срабатывание защиты.

В нормальном режиме работы или при внешних коротких замыканиях величина дифференциального тока близка к нулю, но не равна нулю из-за погрешностей трансформаторов тока, различием характеристик намагничивания трансформаторов тока различных производителей и другими причинами.



Величина небаланса дифференциального тока минимальна в нормальном режиме работы и увеличивается при увеличении значения внешнего тока короткого замыкания. Ток небаланса может вызвать неправильную работу защиты ДЗШ, поэтому принимаются меры к ограничению его значения или загроушение уставки срабатывания. С целью ограничения тока небаланса необходимо:

а) применять одностипные трансформаторы тока с высокими характеристиками намагничивания, у которых насыщение сердечника трансформатора тока происходит при больших токах короткого замыкания;

б) уменьшать вторичные токи за счет увеличения коэффициента трансформации трансформаторов тока;

в) уменьшать нагрузку на трансформаторы тока путем увеличения сечения и сокращения длины соединительных проводов токовых цепей.

Все представленные выше мероприятия позволяют уменьшить погрешность трансформаторов тока при преобразовании величины первичного тока присоединений во вторичные значения.

В настоящее время разработаны более совершенные схемы дифференциальных защит шин (или ошиновки) с применением торможения, которые имеют более улучшенные характеристики отстройки от тока небаланса при внешнем коротком замыкании.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены

в приложении	
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Указания по выполнению лабораторной работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 6 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Подключить аналоговые каналы модуля ввода-вывода для измерения токов фазы А со стороны вводного выключателя, секционного выключателя и выключателя кабельной ЛЭП первой секции сборных шин. При подключении модуля ввода-вывода, необходимо учитывать полярность датчиков тока, таким образом, чтобы в нормальном режиме работы сумма токов была близка к нулю. Модуль выключателя короткозамыкателя QK3 с одной стороны подключить к модулю короткозамыкателя, а с другой стороны — к клеммам A1, B1, C1 модуля выключателя кабельной ЛЭП второй секции сборных шин. Перевести переключатели SA1 модуля трехфазной сети, SA2 модуля вводного выключателя, модулей выключателя кабельной ЛЭП, модуля двигательной нагрузки и модуля секционного выключателя в положение «Авт». Перевести переключатели SA3 модулей вводных выключателей в верхнее положение. Включить автоматические выключатели QF1..QF3 на лицевой панели модуля короткозамыкателя. Включить автоматические выключатели QF1.. QF4 на модулях активной нагрузки. Включить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда. Включить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи питания SA1 «Сеть».

2) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита и автоматика - Работа №06 Дифференциальная защита сборных шин».

3) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗШ», в диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

4) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

5) Дистанционно включить выключатель Q1 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q1». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый — отключен, красный - включен). Аналогичным образом включить выключатели Q3, Q6, Q5, Q7 и Q8. При этом, на мнемосхеме отображаются мгновенные значения токов в обмотках измерительных трансформаторов тока.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

6) Открыть окно настройки защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗШ»). В таблицу 1.6 записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле (см. группу «Измерения» в окне параметров защиты) в режиме нагрузки $I_{\text{неб.нагр.}}$.

Таблица 1.6

Параметр	Значе-
Ток небаланса в режиме нагрузки $I_{\text{неб.нагр.}}$, А	
Ток небаланса в режиме внешнего короткого замыкания $I_{\text{неб.внешн.}}$, А	
Ток небаланса в режиме короткого замыкания шин $I_{\text{неб.ишн.}}$, А	
Ток небаланса в режиме запуска электродвигателя $I_{\text{неб.зап.}}$, А	
Ток срабатывания защиты $I_{\text{сз}}$, А	

7) Создать внешнее короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. В таблицу 1.6 записать величину тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме внешнего короткого замыкания $I_{\text{неб.внешн.}}$. Отключить выключатель короткозамыкателя. Отключить все выключатели. Отключить питание стенда. Изменить точку подключения выключателя короткозамыкателя для создания короткого замыкания на кабельной ЛЭП первой секции сборных шин (клеммы A1, B1, C1 модуля выключателя кабельной ЛЭП). Включить питание стенда. Включить выключатели Q1, Q3, Q6, Q5, Q7 и Q8.

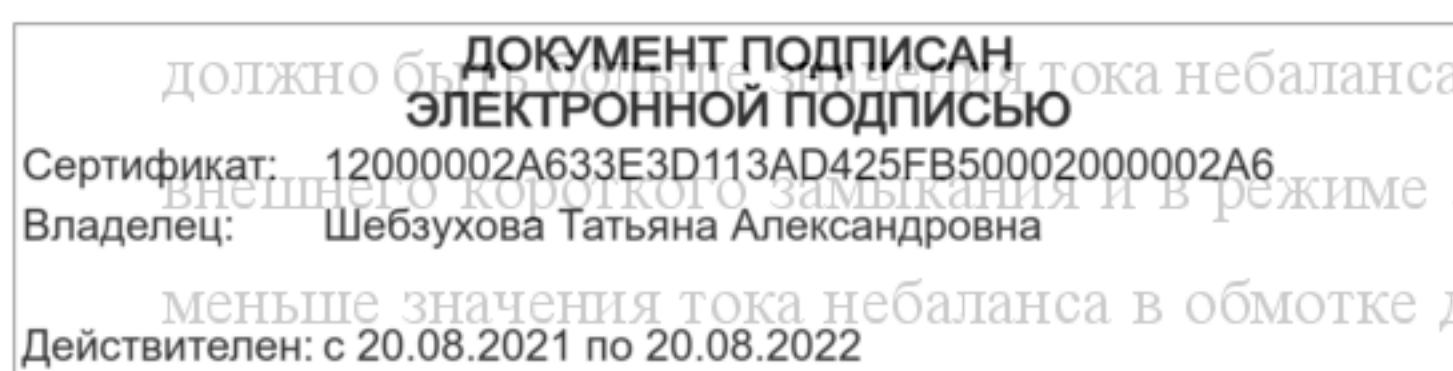
8) Создать короткое замыкание шин включением выключателя короткозамыкателя. В таблицу 1.6 записать значение тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме короткого замыкания шин $I_{\text{неб.ишн.}}$. Отключить выключатель короткозамыкателя. Отключить выключатели Q1, Q3, Q6, Q5, Q7 и Q8.

9) Определить значение тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме запуска электродвигателя. Для чего включить выключатели Q1, Q3, Q6, Q5, Q7, Q8 и в таблицу 1.6 записать значение тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме запуска электродвигателя. Выключить все выключатели. Отключить питание стенда.

10) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле: $I_{\text{сз}} = I_{\text{неб.внешн.}} \cdot k_n$.

Коэффициент надежности принять равным $k_n = 2,375$.

Обратить внимание на то, что полученное значение тока срабатывания защиты



в обмотке дифференциального реле в режиме запуска электродвигателя, но, в то же время, меньше значения тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме короткого

замыкания шин. Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты.

11) Перевести защиту в режим действия на отключение. При необходимости, сбросить состояние указательного реле защиты. Изменить точку подключения выключателя короткозамыкателя для создания короткого замыкания на кабельной ЛЭП второй секции сборных шин (клеммы A1, B1, C1 модуля выключателя кабельной ЛЭП). Включить питание стенда. Включить выключатели Q1, Q3, Q6, Q5, Q7 и Q8.

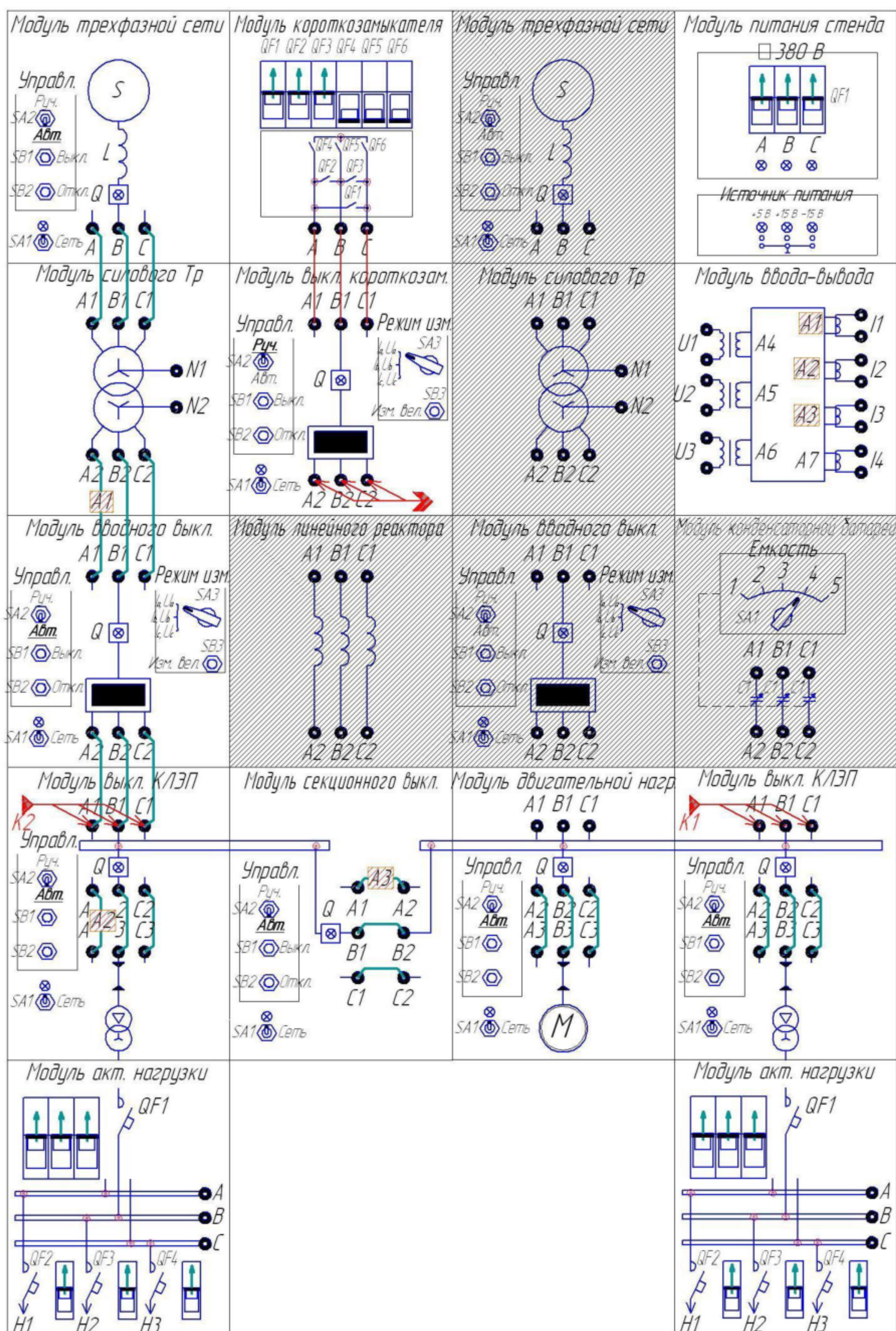
Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. Убедиться в том, что защита не срабатывает при внешнем трехфазном коротком замыкании. Отключить короткое замыкание.

12) Отключить все выключатели. Отключить питание стенда. Изменить точку подключения выключателя короткозамыкателя для создания короткого замыкания на первой секции сборных шин (клеммы A1, B1, C1 модуля выключателя кабельной ЛЭП). Включить питание стенда. Включить выключатели Q1, Q3, Q6, Q5, Q7 и Q8.

13) Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. При правильно выбранных уставках защита срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3, Q5 и Q6, их цвет становится зеленым, а прямоугольник «ДЗШ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «ДЗШ» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). Отключить короткое замыкание.

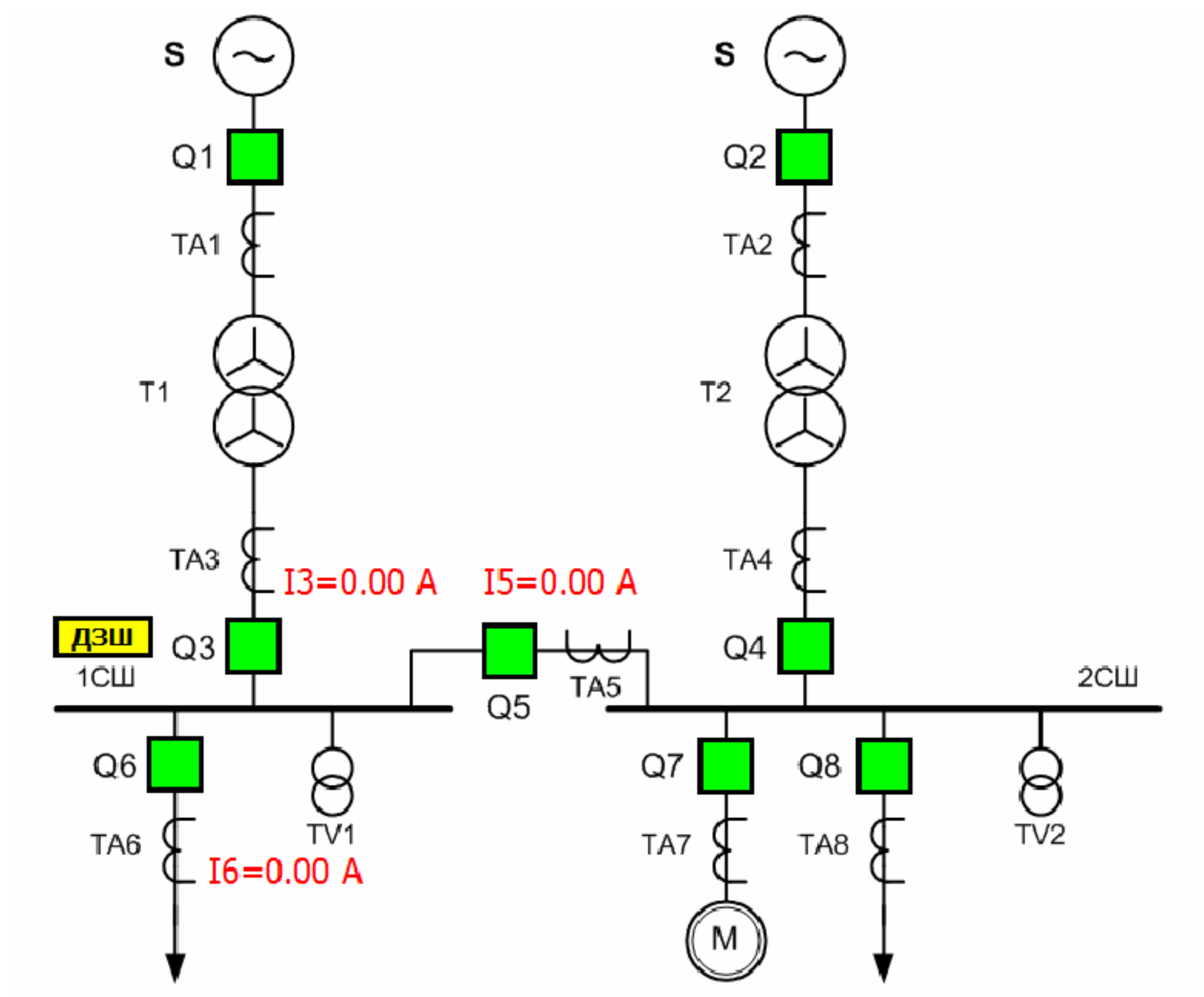
14) Отключить все выключатели. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление — Стоп» или горячей клавишей F6. Отключить питание стенда.

15) Сделать выводы о селективности действия защиты. Оформить отчет по лабораторной работе.



Дифференциальная защита сборных шин. Схема электромонтажная

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022



Дифференциальная защита сборных шин. Мнемосхема

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. Назовите особенности выполнения дифференциальных защит шин?
2. Что входит в зону срабатывания дифференциальной защиты шин?
3. Как действует дифференциальная защита шин при возникновении обрыва?
4. Должна ли срабатывать дифференциальная защита шин при внешних коротких

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
замыкан ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

5. Что необходимо использовать для повышения чувствительности дифференциальной защиты шин?

6. Назовите отличия между дифференциальной защитой шин на $U = 35\text{кВ}$ и дифференциальной защитой шин на $U 6-10\text{ кВ}$.

7. В каких случаях происходит ускорение срабатывания дифференциальной защиты шин?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Лабораторная работа №15. Логическая защита сборных шин.

Цель работы: Изучить принцип действия и область применения логической защиты сборных шин, исследовать факторы, влияющие на селективность и зону действия ЛЗШ.

Основы теории:

Логическая защита шин в настоящее время входит в состав практически любого микропроцессорного терминала РЗА. Ее задача – отключить короткое замыкание на шинах РУ за минимально возможное время, ограничивающееся только собственным временем срабатывания электронной части терминала. Обычно это от 0,1 до 0,15 с.

Элементы логической защиты шин не сосредоточены в одном месте. Это система, объединяющая терминалы защит питающих и отходящих линий.



Отходящие линии при запуске собственных защит (обычно – МТЗ), формируют сигнал блокировки ЛЗШ. Для этого на каждом из них выделяется по одному дискретному выходу. Сигналы от всех отходящих линий секции поступают на дискретные входы терминалов фидеров питания. Для передачи используется система шин питания и управления, входящая в состав любого современного распределительного устройства. На этом, собственно, вся конструктивная часть и заканчивается. Остается выставить правильные настройки ЛЗШ на всех терминалах, задать назначение дискретных входов и выходов.

При внешнем коротком замыкании запускается МТЗ присоединения, на котором оно произошло. Естественно, отключение произойдет по истечении выдержки по времени, предусмотренной для данного тока замыкания.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН	
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Если короткое замыкание произошло на шинах РУ, сигнала блокировки от отходящих линий не поступает, так как ток КЗ через них не проходит. Запуск МТЗ питающих шин

линий при отсутствии сигнала блокировки приведет к мгновенному действию ЛЗШ на отключение присоединений. Причем отключатся независимо друг от друга все выключатели, через которые в данный момент осуществляется питание. Если помимо ввода включен секционный выключатель, то ЛЗШ сработает и на нем.

В отличие от других защит, ЛЗШ редко срабатывает при проверках РЗА персоналом электролабораторий. При работе на отходящих присоединениях сигнал блокировки, хоть и поступает на входы терминалов линий питания, но вреда не приносит. Возможен только отказ в работе при совпадении фактора наличия проверочного тока на отходящем фидере и реальном КЗ на шинах, но вероятность такого казуса невелика.

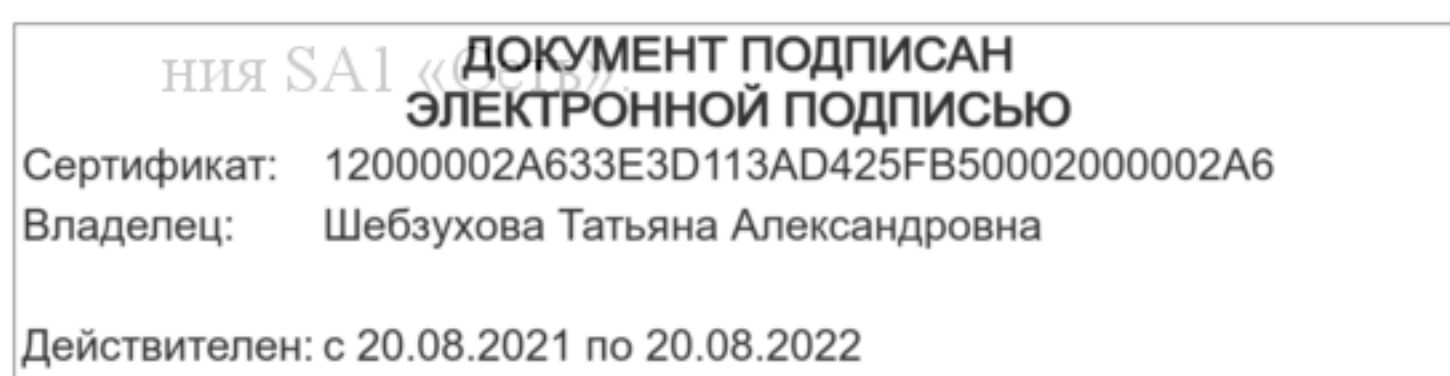
При проверке РЗА питающей линии тем более ничего не произойдет. Если на шины приходит питание через секционный выключатель или другую линию питания, то их логические защиты работают независимо от проверяемой линии питания, достучаться до них отсюда нереально.

Указание по технике безопасности:

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

Указания по выполнению лабораторной работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 7 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Подключить аналоговые каналы модуля ввода-вывода для измерения токов фаз А и С со стороны вводного выключателя и выключателя кабельной ЛЭП первой секции сборных шин. Модуль выключателя короткозамыкателя QK3 с одной стороны подключить к модулю короткозамыкателя, а с другой стороны — к клеммам АЗ, ВЗ, СЗ модуля выключателя кабельной ЛЭП первой секции сборных шин. Перевести переключатели SA1 модуля трехфазной сети, SA2 вводного выключателя, выключателей кабельной ЛЭП, двигательной нагрузки и секционного выключателя в положение «Авт». Перевести переключатели SA3 модулей вводных выключателей в верхнее положение. Включить автоматические выключатели QF1..QF3 на лицевой панели модуля короткозамыкателя. Включить автоматические выключатели QF1.. QF4 на модулях активной нагрузки. Включить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда. Включить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи пита-



2) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск — Программы - Лабораторный комплекс — DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита и автоматика - Работа №07 Логическая защита сборных шин».

3) В программе «DeltaProfi» перевести защиты МТ31, МТ32 в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТ31», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

4) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

5) Дистанционно включить выключатель Q1 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q1». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый — отключен, красный - включен). Аналогичным образом включить выключатели Q3 и Q6. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие значения токов во вторичных обмотках измерительных трансформаторов тока.

6) Записать значение тока во вторичной обмотке измерительного трансформатора ТА6, пропорциональное току нагрузки $I_{\text{раб. max}}$. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление — Стоп» или горячей клавишей F6.

7) Рассчитать ток срабатывания защиты МТ32 по формуле:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{k_n \cdot k_z}{k_g} \cdot I_{\text{раб. max}}$$

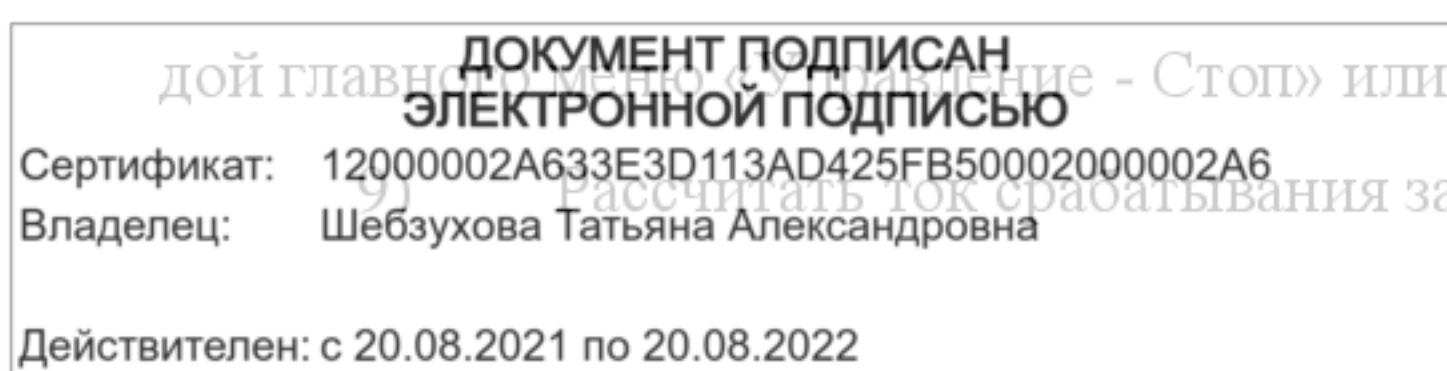
Коэффициент надежности принять равным $k_n = 1,15$.

Коэффициент запуска двигательной нагрузки принять равным $k_z = 1$. Коэффициент возврата реле тока принять равным $k_g = 0,95$.

Открыть диалоговое окно настройки параметров защиты двойным щелчком левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТ32», в появившемся диалоговом окне ввести расчетный ток срабатывания защиты. Диалоговое окно можно закрыть.

8) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление — Пуск» или горячей клавишей F5. Включить выключатели Q5, Q7 и Q8. Записать значение тока во вторичной обмотке измерительного трансформатора ТА3, пропорциональное току нагрузки ввода №1 $I_{\text{вв max}}$. Остановить программу кнопкой «Стоп», коман-

дой главного меню «Управление — Стоп» или горячей клавишей F6.
9) Рассчитать ток срабатывания защиты МТ31 по формуле:



$$I_{с.з.} = \frac{k_n \cdot k_z}{k_v} \cdot I_{св. max}$$

Коэффициент надежности принять равным $k_n = 1,15$.

Коэффициент запуска двигательной нагрузки принять равным $k_z = 1,75$. Коэффициент возврата реле тока принять равным $k_v = 0,95$.

1. Открыть диалоговое окно настройки параметров защиты двойным щелчком левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ1», в появившемся диалоговом окне ввести расчетный ток срабатывания защиты. Диалоговое окно можно закрыть.

10) Рассчитать выдержки времени срабатывания защит МТЗ1 и МТЗ2 в соответствии со ступенчатым принципом обеспечения селективности действия. Задать полученные выдержки времени в диалоговых окнах настройки параметров защит.

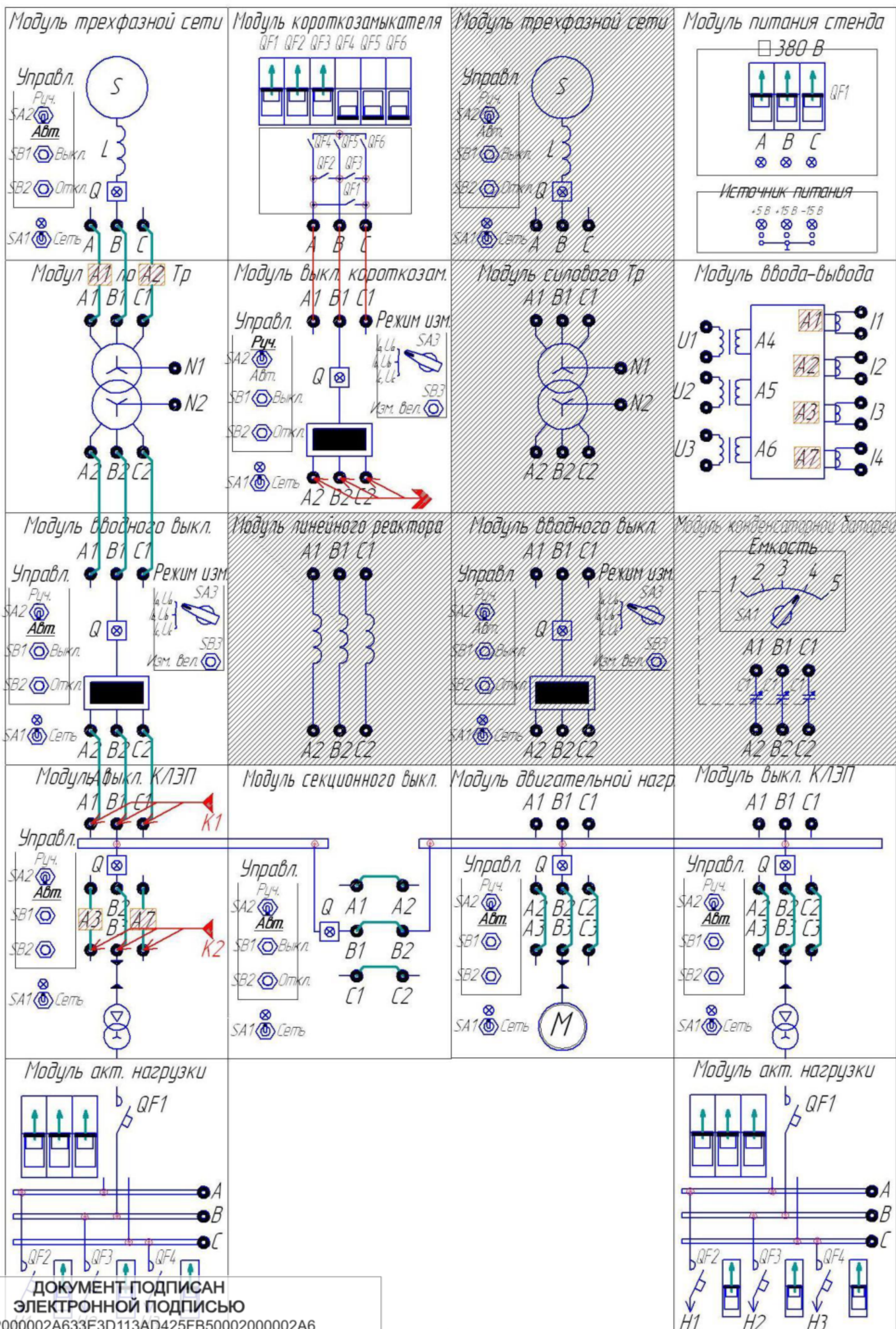
11) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление — Пуск» или горячей клавишей F5. Перевести защиты МТЗ1 и МТЗ2 в режим действия на отключение. Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. При правильно выбранных уставках, с выдержкой времени срабатывает защита МТЗ2, отключая выключатель Q6.

12) Отключить короткое замыкание. Сбросить указательное реле защиты МТЗ2. Отключить все выключатели. Отключить питание стенда. Изменить точку подключения выключателя короткозамыкателя для создания короткого замыкания на первой секции сборных шин (клеммы А1, В1, С1 модуля выключателя кабельной ЛЭП). Включить питание стенда. Включить выключатели Q1, Q3, Q6, Q5, Q7 и Q8.

13) Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. При правильно выбранных уставках, мгновенно по цепи ускорения срабатывает защита МТЗ1, отключая выключатель Q3.

14) Отключить все выключатели. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление — Стоп» или горячей клавишей F6. Отключить питание стенда.

15) Сделать выводы о селективности действия защиты, объяснить, почему время срабатывания защиты МТЗ1 зависит от места повреждения. Оформить отчет по лабораторной работе.



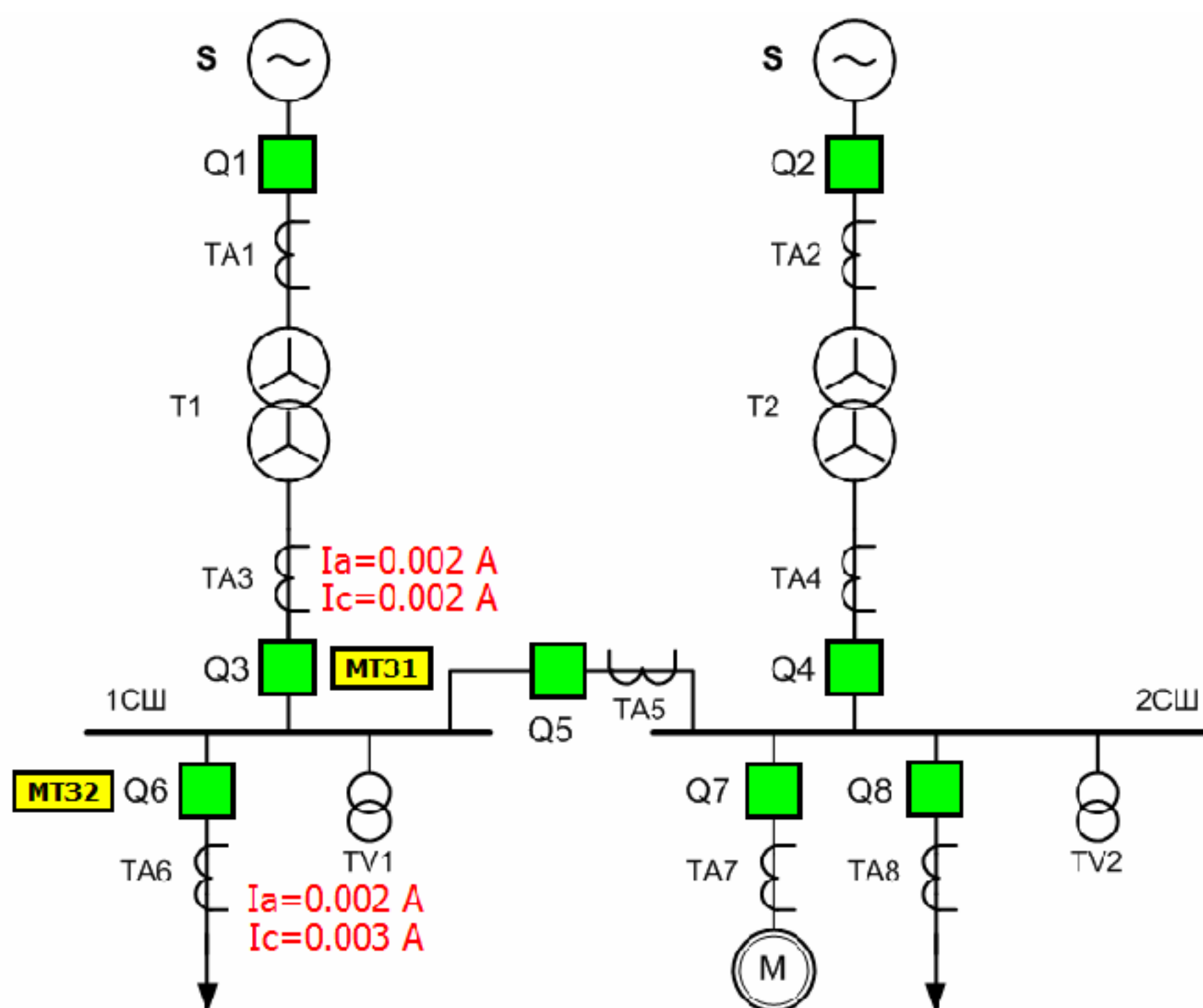
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Логическая защита сборных шин. Схема электромонтажная



Логическая защита сборных шин. Мнемосхема

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 организации ЛЗШ?
2. Поведение ЛЗШ при внешнем КЗ?
3. Работа ЛЗШ при КЗ на шинах?
4. Надежность ЛЗШ?
5. Недостатки ЛЗШ?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Лабораторная работа №16. Автоматическое повторное включение линии электропередачи.

Цель работы: Изучить алгоритмы работы устройств АПВ на линиях с односторонним питанием, изучить особенности взаимодействия устройств АПВ и релейной защиты, изучить принципы расчета установок АПВ линий электропередач с односторонним питанием.

Основы теории:

Одним из признаков возникновения короткого замыкания является увеличение тока в линии. Этот признак используется для выполнения защит, называемых токовыми. Токовые защиты приходят в действие при увеличении тока в фазах линии сверх определенного значения.

Токовые защиты подразделяются на максимальные токовые защиты (МТЗ) и токовые отсечки. Главное различие между этими защитами заключается в способе обеспечения селективности.

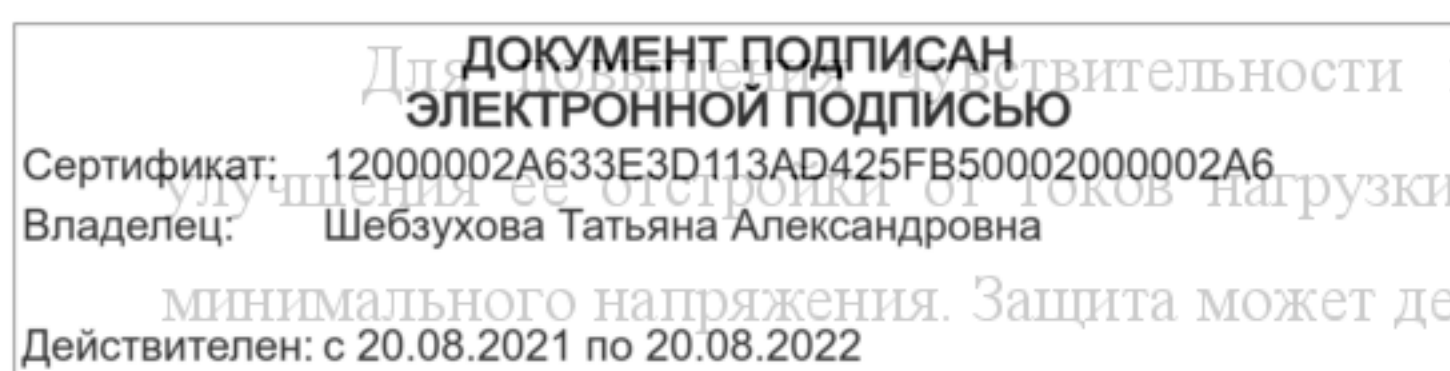
Селективность действия максимальных токовых защит достигается с помощью выдержки времени.

В сетях с односторонним питанием максимальная защита должна устанавливаться в начале каждой линии со стороны источника питания. Тогда каждая линия имеет самостоятельную защиту, отключающую линию в случае повреждения на ней самой или на шинах питающей от нее подстанции.

При коротком замыкании (КЗ) в какой-либо точке ток КЗ проходит по всем участкам сети, расположенным между источником питания и местом повреждения, в результате чего приходят в действие все защиты. Однако по условию селективности срабатывает на отключение только защита, установленная на поврежденной линии. Для обеспечения указанной селективности максимальные защиты выполняются с выдержками времени, нарастающими от потребителей к источнику питания.

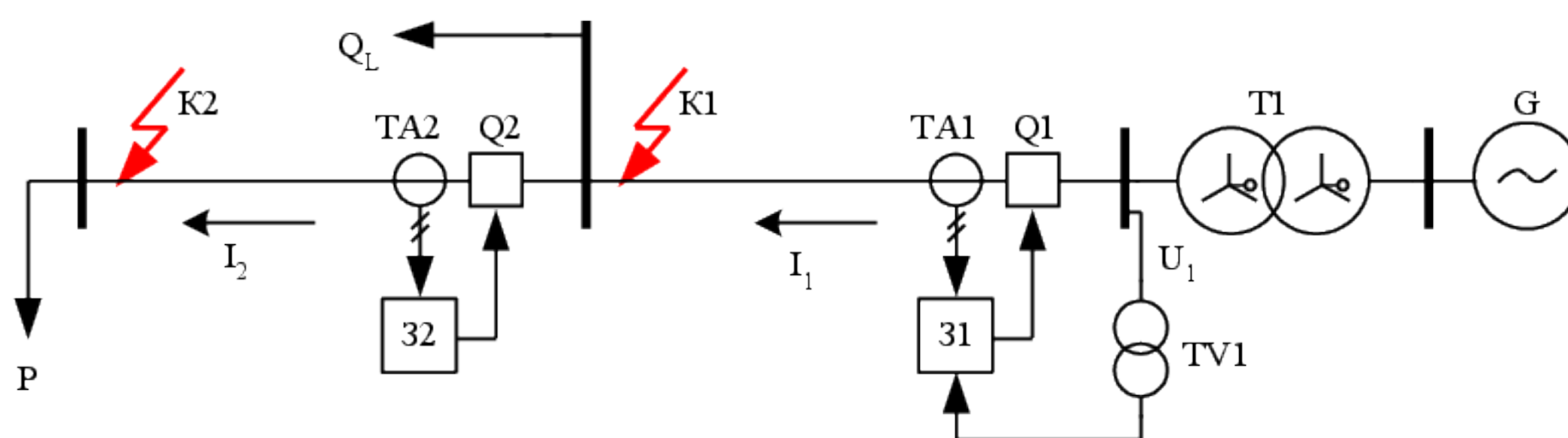
Токовая защита может быть с зависимой, независимой или ограниченно зависимой выдержкой времени.

Селективность действия токовых отсечек обеспечивается соответствующим выбором тока срабатывания.



максимальной токовой защиты при КЗ и применяется блокировка посредством реле минимального напряжения. Защита может действовать на отключение только при условии

понижения напряжения в сети ниже минимального уровня рабочего напряжения. В случае перегрузки линии и относительно небольшом понижении напряжения защита не сработает, даже если ток фаз увеличится выше значения уставки.



В данном эксперименте используются две последовательно соединенные линии (см. рис), подключенные к источнику G через трансформатор $T1$ и выключатели $Q1$ и $Q2$. От шин одной линии получает питание индуктивная нагрузка Q_L , от шин другой линии – активная нагрузка P . В начале первой линии установлены трансформаторы тока $TA1$ и напряжения $TV1$, в начале второй – только трансформатор тока $TA2$. Короткие замыкания $K1$ и $K2$ устраиваются в конце каждой из линий.

Две защиты 31 и 32 моделируются на компьютере с помощью специальной программы. Защита 31 может работать с независимой или зависимой выдержкой времени, а также с блокировкой по напряжению или без нее. Защита 32 может работать только с независимой выдержкой времени без блокировки по напряжению.

В рамках рассматриваемой работы можно смоделировать, как минимум, 5 различных вариантов (комбинаций) защит:

- 31 с независимой выдержкой времени без блокировки по напряжению;
- 31 с зависимой выдержкой времени без блокировки по напряжению;
- 31 с независимой выдержкой времени с блокировкой по напряжению;
- 31 и 32 с независимыми выдержками времени без блокировок по напряжению;
- 31 или 32 в качестве токовой отсечки без выдержки времени.

Кроме перечисленных, можно выполнить и другие эксперименты, любым образом комбинируя уставки защит.

При использовании двух МТЗ линий полезно убедиться в том, что защита первой линии действительно резервирует защиту второй линии. Для этого нужно смоделировать отказ выключателя $Q2$ (например, перевести его в ручной режим работы и включить), после чего провести эксперимент, устраивая короткое замыкание в конце второй линии, и

Указание по технике безопасности:

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

Указания по выполнению лабораторной работы:

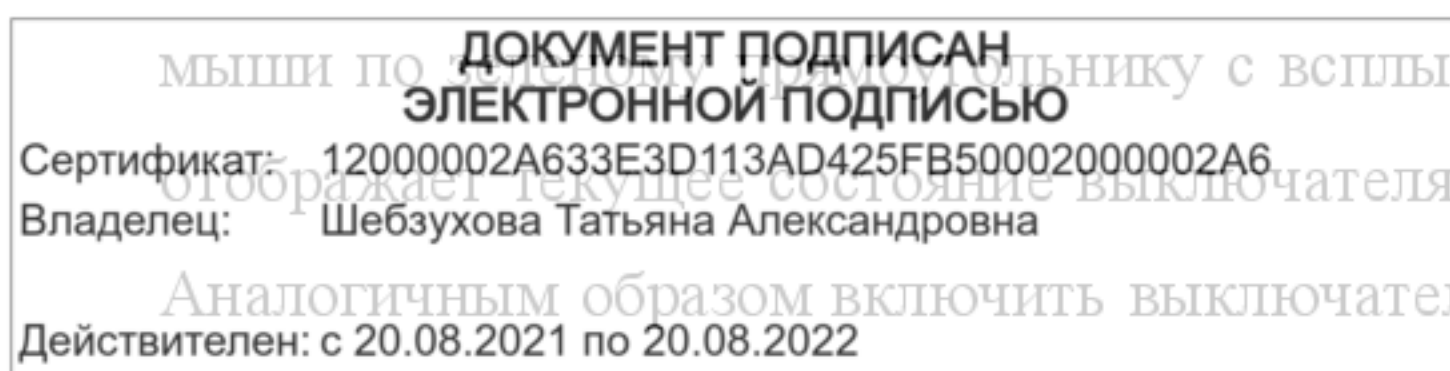
1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 8 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Подключить аналоговые каналы модуля ввода-вывода для измерения токов фаз А и С со стороны выключателя кабельной ЛЭП первой секции сборных шин. Модуль выключателя короткозамыкателя QK3 с одной стороны подключить к модулю короткозамыкателя, а с другой стороны — к клеммам АЗ, ВЗ, СЗ модуля выключателя кабельной ЛЭП первой секции сборных шин. Перевести переключатели SA1 модуля трехфазной сети, SA2 модуля вводного выключателя, модулей выключателя кабельной ЛЭП, модуля двигательной нагрузки и модуля секционного выключателя в положение «Авт». Перевести переключатели SA3 модулей вводных выключателей в верхнее положение. Включить автоматические выключатели QF1..QF3 на лицевой панели модуля короткозамыкателя. Включить автоматические выключатели QF1.. QF4 на модулях активной нагрузки. Включить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда. Включить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи питания SA1 «Сеть».

2) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс — DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита и автоматика - Работа №08 АПВ линии электропередачи».

3) В программе «DeltaProfi» перевести защиту MT31 в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «MT31», в диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»). Перевести АПВ в режим работы «отключено» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «АПВ», в диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «отключено»).

4) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

5) Дистанционно включить выключатель Q1 одинарным щелчком левой кнопки



мыши по значку с всплывающей подсказкой «Q1». Программа всегда (зеленый — отключен, красный - включен).

Аналогичным образом включить выключатель Q3. Включить выключатель Q6 переводом

ключа управления выключателем SB6 в положение «вкл.». При этом, на мнемосхеме отображаются текущие значения токов во вторичных обмотках измерительных трансформаторов тока и напряжения.

6) Записать значение тока во вторичной обмотке измерительного трансформатора ТА6, пропорциональное току нагрузки линии электропередачи W1 $I_{\text{раб. max}}$.

Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

7) Рассчитать ток срабатывания защиты МТЗ1 по формуле:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{k_n \cdot k_z}{k_e} \cdot I_{\text{раб. max}}$$

Коэффициент надежности принять равным $k_n = 1,2$.

Коэффициент запуска двигательной нагрузки принять равным $k_z = 1$. Коэффициент возврата реле тока принять равным $k_e = 0,95$.

Открыть диалоговое окно настройки параметров защиты двойным щелчком левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ1», в появившемся диалоговом окне ввести расчетный ток срабатывания защиты. Диалоговое окно закрыть.

8) Открыть диалоговое окно настройки параметров АПВ (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «АПВ»). Установить переключатель «кратность действия» в положение «двухкратное». Переключатель «Ускорение действия релейной защиты» в положение «отключено».

9) Перевести защиту МТЗ1 в режим действия на отключение. Перевести АПВ в режим работы «включено». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

10) Проверить работу АПВ при самоустраняющемся коротком замыкании. Создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. При правильно выбранных уставках защита срабатывает с заданной выдержкой времени, отключая выключатель Q6, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «МТЗ1» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «МТЗ1» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). СРАЗУ ПОСЛЕ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ отключить короткое замыкание! АПВ с выдержкой времени подает команду на включение выключателя Q6. Восстанавливается нормальный режим работы.

Проверить работу АПВ при самоустраняющемся коротком замыкании указательного реле МТЗ1 и АПВ.

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

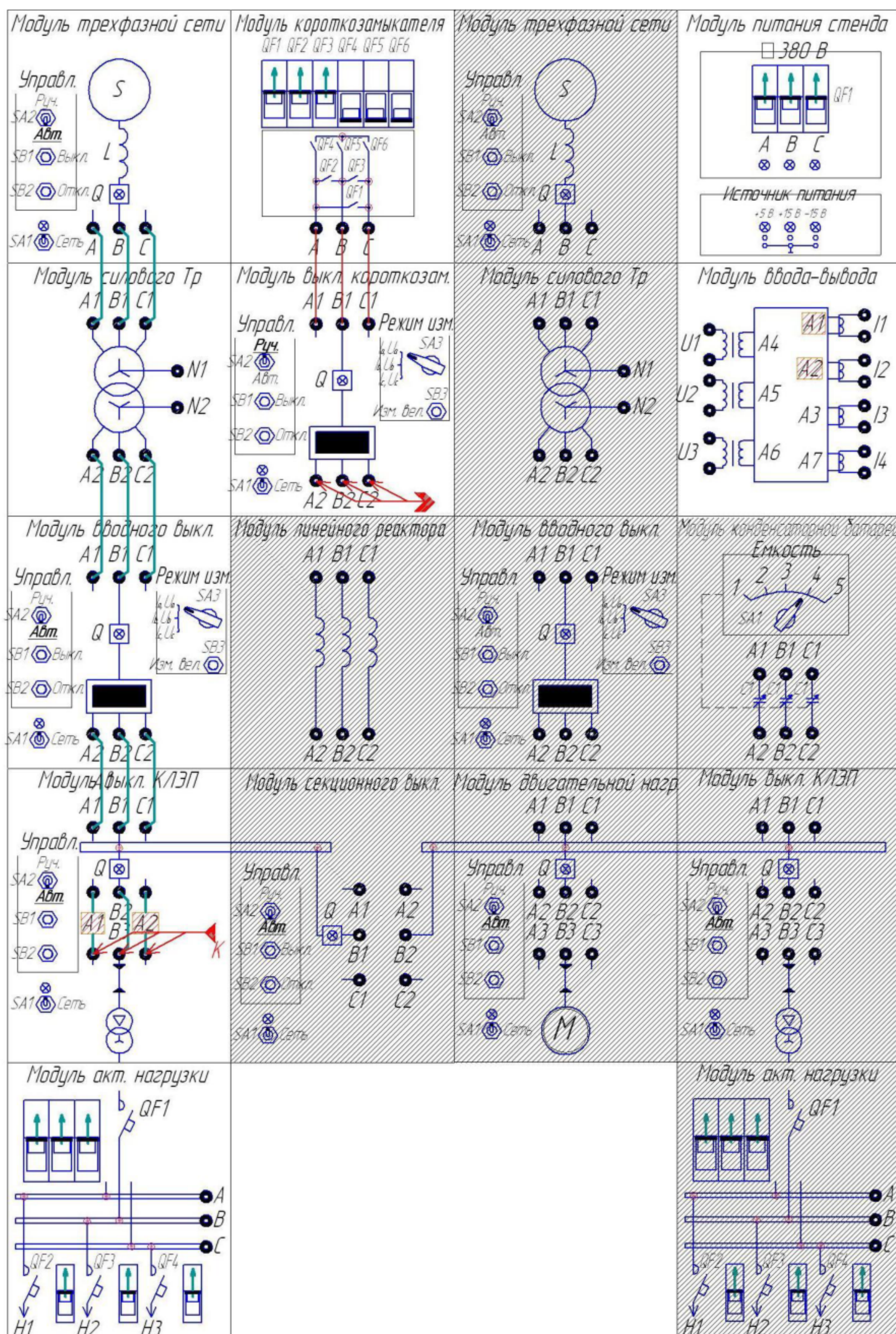
Проверить автоматический возврат АПВ. Для этого, повторить предыдущий пункт 3-4 раза. АПВ должно срабатывать в каждом случае.

12) Проверить работу АПВ при устойчивом коротком замыкании.

Для этого, создать короткое замыкание. МТЗ с заданной выдержкой времени, отключает выключатель Q6, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «МТЗ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. АПВ с выдержкой времени 1 ступени включает выключатель Q6. МТЗ с заданной выдержкой времени снова отключает выключатель Q6. АПВ с выдержкой времени 2 ступени снова включает выключатель Q6. МТЗ с заданной выдержкой времени снова отключает выключатель Q6. Дальнейшая работа АПВ блокируется.

13) Отключить все выключатели. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление — Стоп» или горячей клавишей F6. Отключить питание стенда.

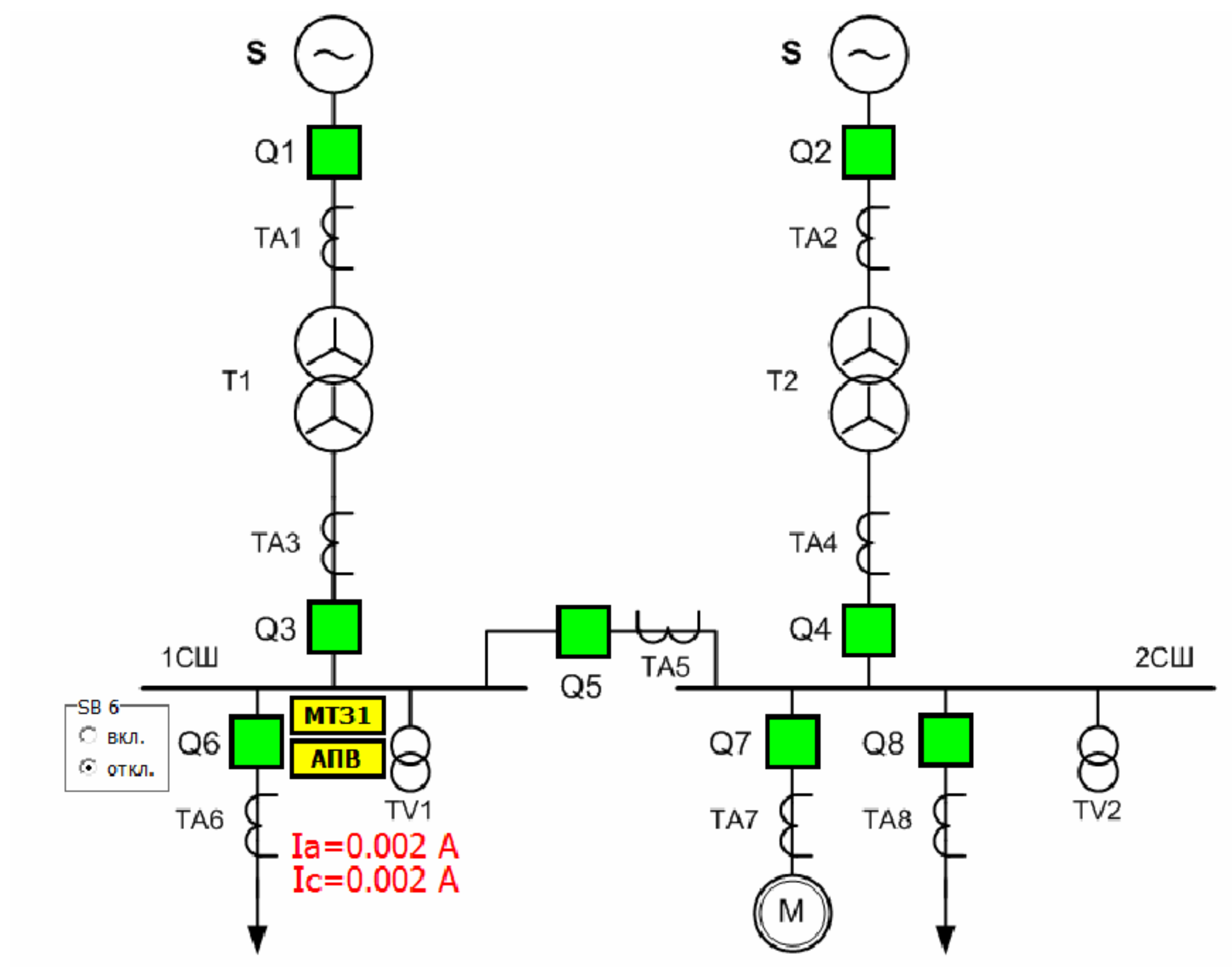
14) Оформить отчет по лабораторной работе.



Автоматическое повторное включение линии электропередачи. Схема электромон-

тажная

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022



Автоматическое повторное включение линии электропередачи. Мнемосхема

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. Какие требования предъявляются к устройствам АПВ?
2. Для чего АПВ выполняется с выдержкой времени?
3. Как выбираются уставки УАПВ?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. Значение коэффициента срабатывания измерительного органа защиты ис-

пользуется коэффициент схемы?

5. Какие параметры используются в качестве уставок УАПВ?

6. Для каких линий предпочтительно использовать устройства АПВ?
7. Сколько повторных включений обеспечивают устройства АПВ воздушных ЛЭП?
8. Что является логической посылкой для начала работы схемы АПВ в реальных схемах управления выключателями присоединений, обеспечиваемых этой автоматикой; по каким условиям состояния схемы

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Лабораторная работа №17. Автоматическое повторное включение сборных шин

Цель работы: Изучить особенности работы устройств автоматического повторного включения шин, изучить особенности взаимодействия устройств АПВ шин и устройств релейной защиты.

Основы теории:

В соответствии с правилами эксплуатации, существуют определенные требования и условия, которые должны соблюдать АПВ автоматическое повторное включение, с целью обеспечения эффективной и безопасной работы электрооборудования. Все защитные устройства продолжают свою работу до и после повторного включения.

Срабатывание автоматики должно приводить объект или устройство в первоначальное готовое положение. Если возможность автоматического возврата отсутствует, данная операция выполняется вручную.

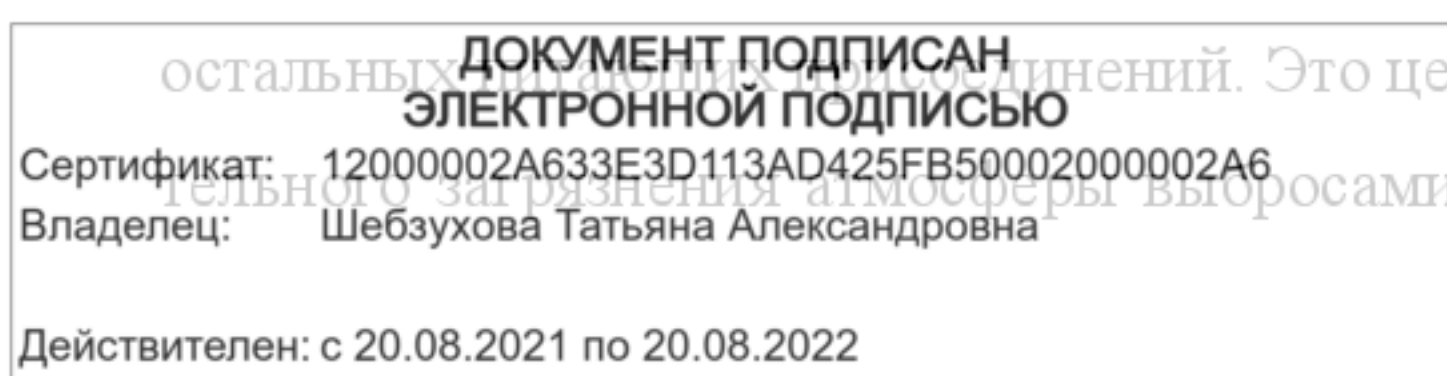
Запрещается использовать АПВ в случае срабатывания отдельных видов автоматической и релейной защиты трансформаторов. Если срабатывает защита, которой оборудованы силовые электродвигатели, в этом случае система АПВ должна находиться в отключенном состоянии. Ее отключение выполняется когда высоковольтный выключатель отключается вручную или дистанционно при наличии короткого замыкания.

В обязательном порядке должны блокироваться многократные включения АПВ во избежание устойчивых коротких замыканий. Блокировка осуществляется и в случае неисправностей в самих устройствах автоматического повторного включения.

При ремонте на воздушных и кабельных линиях, а также в случаях их планового и оперативного переключения АПВ отключается во избежание ложных срабатываний выключателя.

В случае повреждений на сборных шинах защита отключает все присоединения, которые питают эти шины. Основное назначение АПВ шин это повторная подача на шины напряжения с целью восстановления электроснабжения потребителей, которые получают от шин питание при нестойких повреждениях. Эта задача решается АПВ одного из питающих присоединений, которые отключились. Если АПВ успешное, то может ставится и вторая задача – автоматическое восстановление начальной схемы последовательным АПВ

остальных присоединений. Это целесообразно на подстанциях в районах значительного загрязнения атмосферы выбросами промышленных предприятий химической и



металлургической отраслей, а также на нетелемеханизированных без постоянного дежурного персонала.

В общем успешными являются 64,8 % АПВ шин и 60 % АПВ силовых трансформаторов.

Устройства АПВ шин выполняют разные функции. Наиболее просто осуществляется автоматическое испытание изоляции шин после того, как они были обесточены. Достаточно сложно реализуются испытания шин и подача напряжения потребителям, отключенным одновременно с выключением шин. Ещё более сложным является выполнение автоматического восстановления нормальной схемы подстанции после того, как установлена неповрежденность шин.

Указание по технике безопасности:

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

Указания по выполнению лабораторной работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 9 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Подключить аналоговые каналы модуля ввода-вывода для измерения токов фазы А со стороны вводного выключателя, секционного выключателя и выключателя кабельной ЛЭП первой секции сборных шин. Модуль выключателя короткозамыкателя QK3 с одной стороны подключить к модулю короткозамыкателя, а с другой стороны — к клеммам A1, B1, C1 модуля выключателя кабельной ЛЭП второй секции сборных шин. Перевести переключатели SA1 модуля трехфазной сети, SA2 модуля вводного выключателя, модулей выключателя кабельной ЛЭП, модуля двигательной нагрузки и модуля секционного выключателя в положение «Авт». Перевести переключатели SA3 модулей вводных выключателей в верхнее положение. Включить автоматические выключатели QF1..QF3 на лицевой панели модуля короткозамыкателя. Включить автоматические выключатели QF1.. QF4 на модулях активной нагрузки. Включить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда. Включить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи питания SA1 «Сеть».

2) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы — Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу

командой **ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН** защитой и автоматика - Работа №09 АПВ сборных шин».

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

3) В программе «DeltaProfi» перевести защиту ДЗШ в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗШ», в диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»). Перевести АПВШ в режим работы «отключено» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «АПВШ», в диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «отключено»),

4) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

5) Дистанционно включить выключатель Q1 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q1». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый — отключен, красный — включен). Аналогичным образом включить выключатели Q3, Q6, Q5, Q7 и Q8. При этом, на мнемосхеме отображаются мгновенные значения токов в обмотках измерительных трансформаторов тока.

6) Открыть окно настройки защиты (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «ДЗШ»), В таблицу 1.9 записать значение тока небаланса в обмотке дифференциального реле (см. группу «Измерения» в окне параметров защиты) в режиме нагрузки $I_{\text{неб.нагр.}}$.

Таблица 1.9.

Параметр	Значе-
Ток небаланса в режиме нагрузки $I_{\text{неб.нагр.}}$, А	
Ток небаланса в режиме внешнего короткого замыкания $I_{\text{неб.внешн.}}$,	
Ток небаланса в режиме короткого замыкания шин $I_{\text{неб.ишн.}}$, А	
Ток небаланса в режиме запуска электродвигателя $I_{\text{неб.зап.}}$, А	
Ток срабатывания защиты $I_{\text{сз}}$, А	

7) Создать внешнее короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. В таблицу 1.9 записать значение тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме внешнего короткого замыкания $I_{\text{неб.внешн.}}$. Отключить выключатель короткозамыкателя. Отключить все выключатели. Отключить питание стенда. Изменить точку

подключенного короткозамыкателя для создания короткого замыкания на кабельной ЛЭП первой секции сборных шин (большой ЛЭП). Включить питание стенда. Включить выключатели Q1, Q3, Q6, Q5, Q7 и Q8.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

8) Создать короткое замыкание шин включением выключателя короткозамыкателя. В таблицу 1.9 записать значение тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме короткого замыкания шин $I_{\text{неб. шин}}$. Отключить выключатель короткозамыкателя. Отключить выключатели Q1, Q3, Q6, Q5, Q7 и Q8.

9) Определить значение тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме запуска электродвигателя. Для чего включить выключатели Q1, Q3, Q6, Q5, Q7, Q8 и в таблицу 1.9 записать значение тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме запуска электродвигателя. Выключить все выключатели. Отключить питание стенда.

10) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле: $I_{\text{с.з.}} = I_{\text{неб. внешн.}} \cdot k_n$.

Коэффициент надежности принять равным $k_n = 2,375$.

Обратить внимание на то, что полученное значение тока срабатывания защиты должно быть больше значения тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме внешнего короткого замыкания и в режиме запуска электродвигателя, но, в то же время, меньше значения тока небаланса в обмотке дифференциального реле в режиме короткого замыкания шин. Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты.

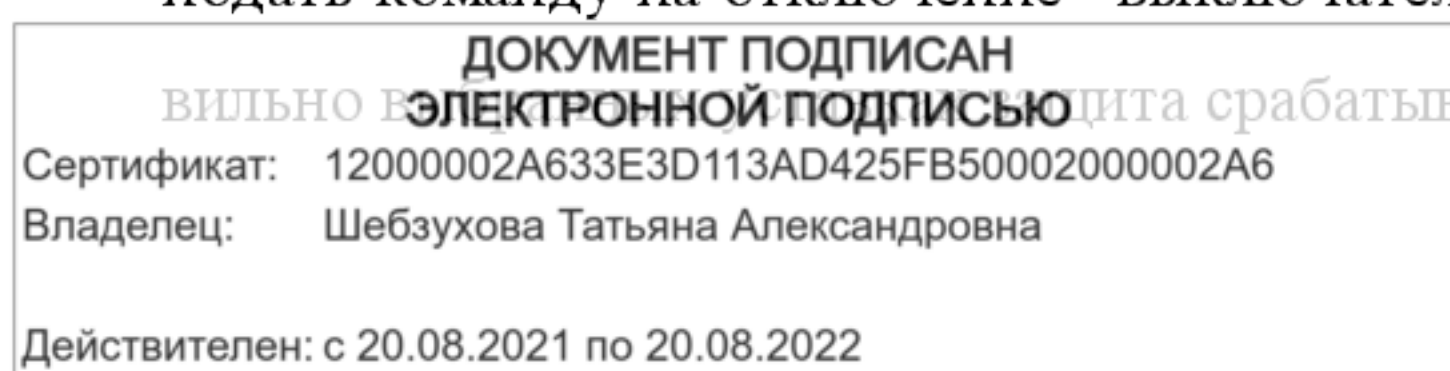
11) Включить питание стенда. Включить выключатели Q1, Q3, Q6, Q5, Q7 и Q8.

12) Перевести защиту в режим действия на отключение. При необходимости, сбросить состояние указательного реле защиты. Перевести АПВШ в режим работы «включено».

13) Провести испытания АПВ шин при самоустраняющемся коротком замыкании. Для этого создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя. При правильно выбранных уставках защита срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3, Q6 и Q5, их цвет становится зеленым, а прямоугольник «ДЗШ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. СРАЗУ ПОСЛЕ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ

отключить короткое замыкание. АПВ с выдержкой времени включает выключатели всех присоединений. Щелчком левой кнопки мыши по прямоугольникам «ДЗШ» и «АПВШ» сбросить состояние указательных реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты и автоматики).

14) Проверить учет положения ключей управления выключателями. Для этого, подать команду на отключение* выключателя Q5. Создать короткое замыкание. При пра-



чатели Q3 и Q6. СРАЗУ ПОСЛЕ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ отключить короткое замыкание. АПВ с выдержкой времени включает выключатели отключенные действием ДЗШ. Обратить внимание, что выключатель Q5, находившийся в отключенном состоянии, не включается действием АПВ. Щелчком левой кнопки мыши по прямоугольникам «ДЗШ» и «АПВШ» сбросить состояние указательных реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты и автоматики).

15) Провести испытания АПВ шин при устойчивом коротком замыкании. Для этого, создать короткое замыкание. При правильно выбранных уставках защита срабатывает без выдержки времени, отключая выключатели Q3 и Q6. АПВ с выдержкой времени включает выключатель Q3, при этом возникает ток короткого замыкания и выключатель Q3 отключается действием ДЗШ. Дальнейшая работа АПВ блокируется.

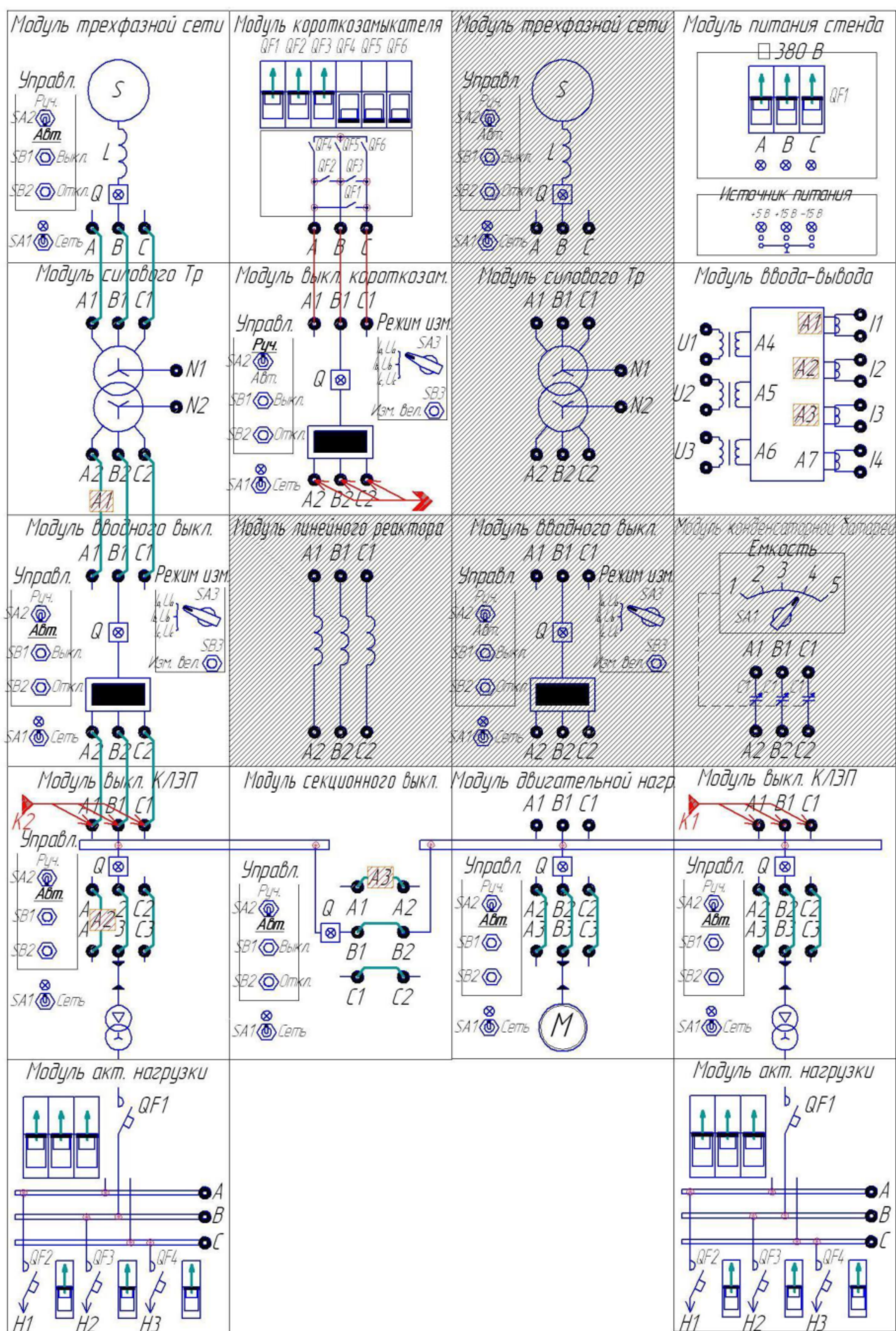
16) Отключить все выключатели. Отключить питание стенда. Изменить точку подключения выключателя короткозамыкателя для создания короткого замыкания на кабельной ЛЭП второй секции сборных шин (клеммы A1, B1, C1 модуля выключателя кабельной ЛЭП). Включить питание стенда. Включить выключатели Q1, Q3, Q6, Q5, Q7 и Q8.

Создать короткое замыкание шин включением выключателя короткозамыкателя.

При правильно выбранных уставках защита не срабатывает.

17) Отключить все выключатели. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6. Отключить питание стенда.

18) Оформить отчет по лабораторной работе.



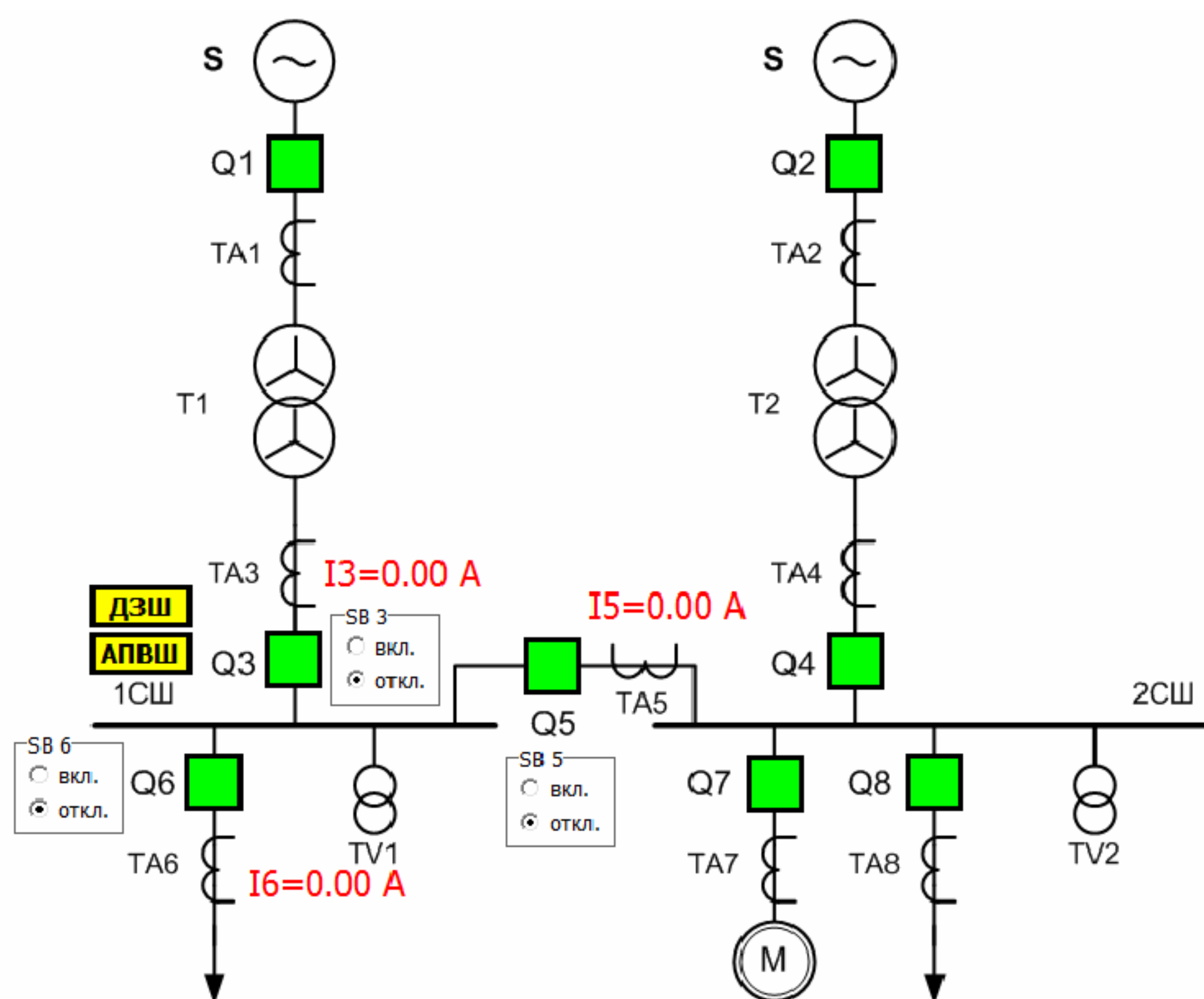
Автоматическое повторное включение сборных шин. Схема электромонтажная

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022



Автоматическое повторное включение сборных шин. Мнемосхема

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. Какие требования предъявляются к устройствам АПВ сборных шин?
2. Почему УАПВ сборных шин должно предусматривать блокировку при срабатывании газовой защиты?
3. Почему на двухтрансформаторных подстанциях можно обойтись без АПВ сборных шин?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. Улучшение быстродействия УАПВ шин по сравнению с УАПВ линий электропередачи, всегда ли может наблюдаться такое соотношение?

Лабораторная работа №18. Автоматическое включение резерва секционного выключателя.

Цель работы: Изучить принцип действия и особенности работы устройств автоматического включения резерва секционного выключателя.

Основы теории:

Для надежного электроснабжения потребителей в энергосистемах и электроустановках создаются специальные схемы электрических соединений, обеспечивающие повышенную надежность.

Высокую степень надежности электроснабжения обеспечивают схемы питания подстанций одновременно от двух и более источников питания, поскольку при таких схемах аварийное отключение одного из источников не нарушает питания потребителей.

Несмотря на эти очевидные преимущества многостороннего питания потребителей, большое количество подстанций воздушных и кабельных сетей, имеющих два и более источников питания, работают по схеме одностороннего питания. Одностороннее питание имеют также секции собственных нужд электростанций.

Применение такой менее надежной, но более простой схемы электроснабжения во многих случаях оказывается целесообразным для снижения величин токов короткого замыкания, экономии потерь мощности в трансформаторах, упрощения релейной защиты, созданию необходимого режима по напряжению, перетокам мощности и т.п. При развитии сетей одностороннее питание часто является единственно возможным решением, так как ранее установленное оборудование и релейная защита не позволяют осуществить параллельную работу источников питания.

Недостатком одностороннего питания является то, что аварийное отключение рабочего источника приводит к прекращению питания потребителей, т.е. к аварии.

Этот недостаток может быть в значительной степени устранен быстрым автоматическим включением резервного источника или включением выключателя, на котором производится деление сети. Для выполнения этой операции широко используются специальные автоматические устройства, получившие наименование автоматов включения резерва (АВР).

В данном эксперименте моделируется схема понизительной подстанции (см. рис). В

нормальном режиме секционный выключатель Q1 и Q2 включены, секционный выключатель Q3 отключен. При «аварийном» отключении выключателя Q1 (т.е. при исчезновении напряжения на шинах подстанции), сначала срабатывает защита минимального

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

напряжения, отключающая выключатель Q2, а затем – устройство АВР, которое включает выключатель Q3.

Защита минимального напряжения и устройство АВР моделируются на компьютере с помощью специальной программы. Пуск устройства АВР происходит в случае исчезновения (снижения до значения уставки) напряжения на шинах подстанции.

Указание по технике безопасности:

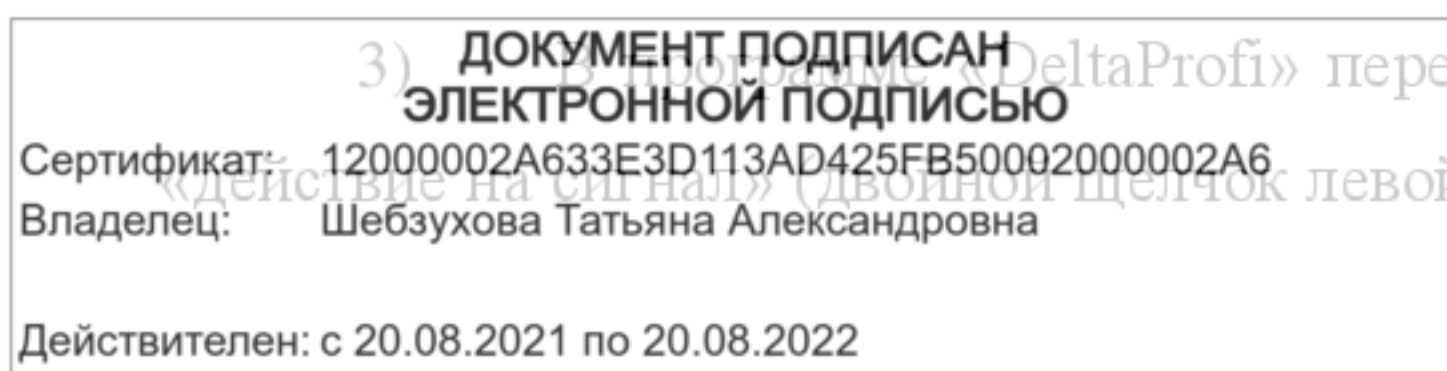
Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 10 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Подключить аналоговые каналы модуля ввода- вывода для измерения токов фаз А и С со стороны вводных выключателей первой и второй секции сборных шин (каналы А1, А2 для измерения токов ввода первой секции сборных шин, каналы А3, А7 для измерения токов ввода второй секции сборных шин), а также измерения линейных напряжений первой и второй секций сборных шин (каналы А4 и А5 соответственно). Модуль выключателя короткозамыкателя QK3 с одной стороны подключить к модулю короткозамыкателя, а с другой стороны — к клеммам А1, В1, С1 модуля выключателя кабельной ЛЭП первой секции сборных шин. Перевести переключатели SA1 модуля трехфазной сети, SA2 модуля вводного выключателя, модулей выключателя кабельной ЛЭП, модуля двигательной нагрузки и модуля секционного выключателя в положение «Авт». Перевести переключатели SA3 модулей вводных выключателей в верхнее положение. Включить автоматические выключатели QF1..QF3 на лицевой панели модуля короткозамыкателя. Включить автоматические выключатели QF1.. QF4 на модулях активной нагрузки. Включить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда. Включить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи питания SA1 «Сеть».

2) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Релейная защита и автоматика - Работа №10 АВР секционного выключателя».

3) В программном комплексе «DeltaProfi» перевести защиты МТ31, МТ32 в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТ31»,



в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

4) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

5) Дистанционно включить выключатель Q1 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q1». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый — отключен, красный — включен). Аналогичным образом включить выключатели Q3, Q6, Q5, Q7 и Q8. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие значения токов во вторичных обмотках измерительных трансформаторов тока и напряжения.

6) Записать значение тока во вторичной обмотке измерительного трансформатора ТА3, пропорциональное току нагрузки ввода №1 $I_{\text{раб. max}}$.

Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6.

7) Рассчитать ток срабатывания защиты по формуле:

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{k_n \cdot k_z}{k_e} \cdot I_{\text{раб. max}}$$

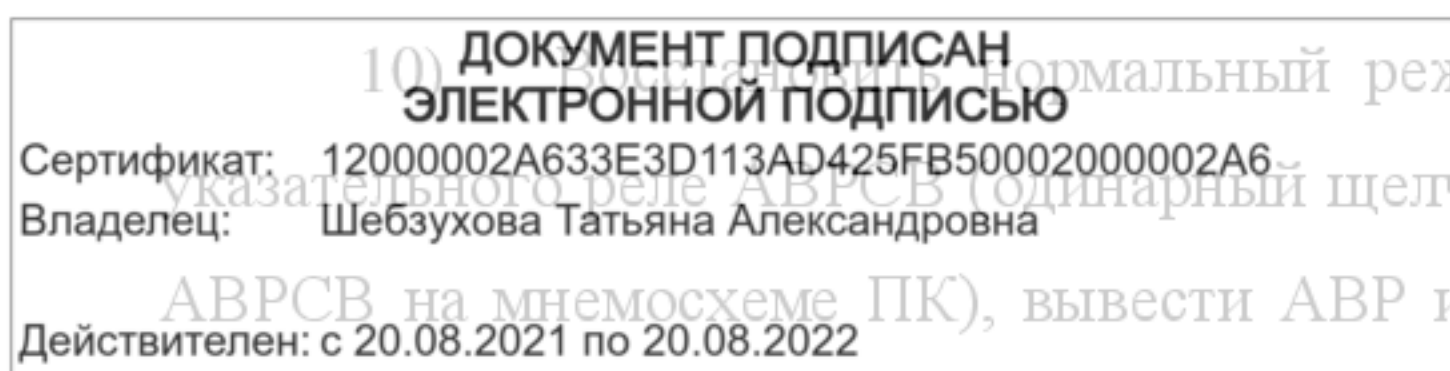
Коэффициент надежности принять равным $k_n = 1,1$.

Коэффициент запуска двигательной нагрузки принять равным $k_z = 1,4$. Коэффициент возврата реле тока принять равным $k_e = 0,95$.

Открыть диалоговое окно настройки параметров защиты двойным щелчком левой кнопкой мыши на прямоугольнике «MT31», в появившемся диалоговом окне ввести расчетный ток срабатывания защиты. Диалоговое окно закрыть. Аналогичным образом, ввести ток срабатывания защиты MT32.

8) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление — Пуск» или горячей клавишей F5. Перевести защиты MT31 и MT32 в режим действия на отключение. Отключить выключатель Q5. Включить выключатели Q2 и Q4. Режим работы АВРСВ изменить на значение «включено».

9) Проверить действие АВР при исчезновении напряжения на первой секции шин. Для этого дистанционно отключить вводной выключатель Q3 щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме. АВР срабатывает и включает секционный выключатель Q5.



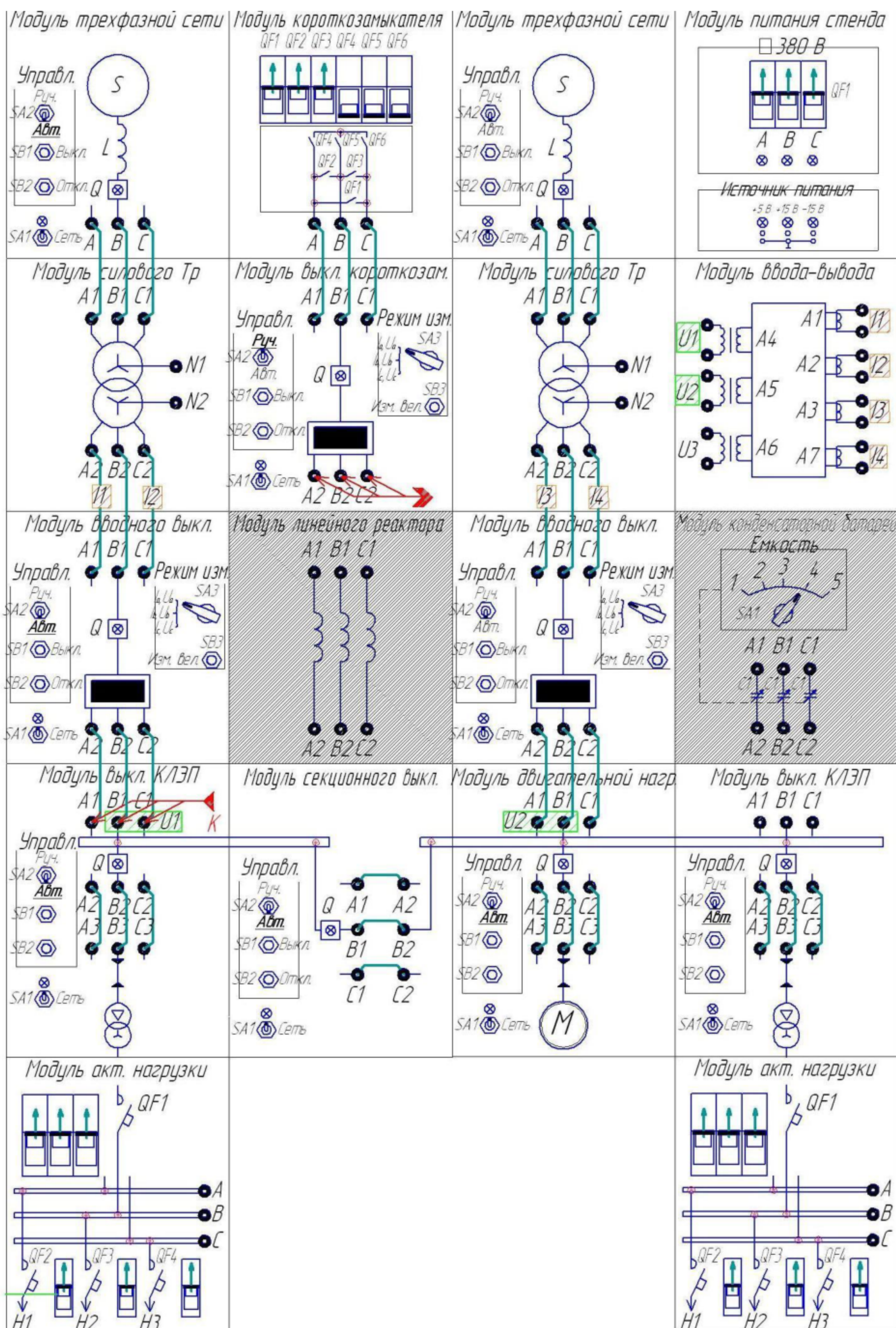
работы» в положение «отключено» в окне настройки параметров АВРСВ), дистанционно отключить выключатель Q5 и включить выключатель Q3, ввести АВР в работу (перевести переключатель «Режим работы» в положение «включено» в окне настройки параметров АВРСВ).

11) Проверить действие АВР при исчезновении напряжения на второй секции шин. Для этого дистанционно отключить вводной выключатель Q4 щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме. АВР срабатывает и включает секционный выключатель Q5. Восстановить нормальный режим работы в соответствии с рекомендациями п.10.

12) Проверить действие АВР при исчезновении напряжения на первой секции шин по причине короткого замыкания на первой секции шин. Для этого, создать короткое замыкание включением выключателя короткозамыкателя.

13) Отключить все выключатели. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление — Стоп» или горячей клавишей F6. Отключить питание стенда.

14) Оформить отчет по лабораторной работе.



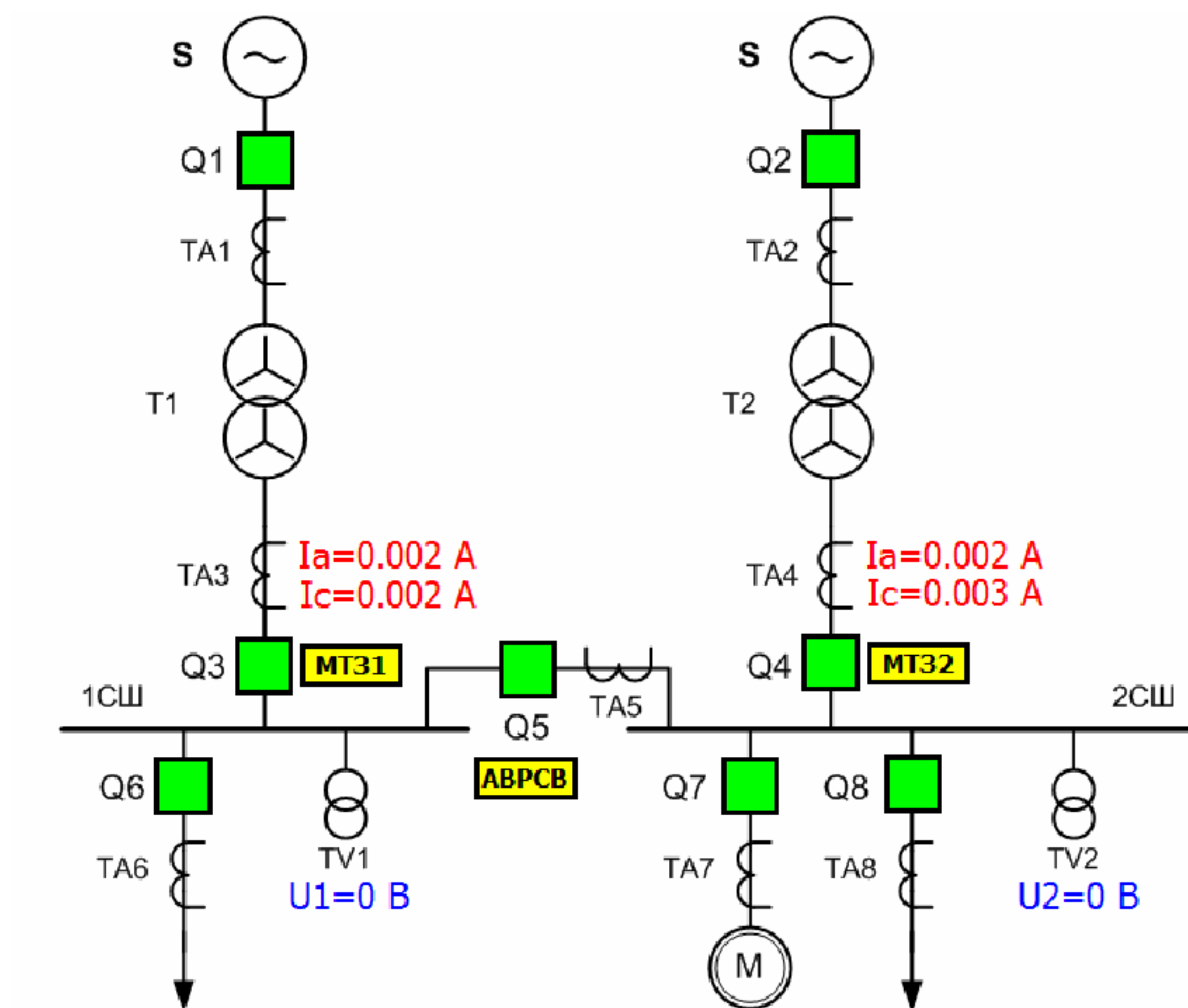
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Схема электромон-
тажная



Автоматическое включение резерва секционного выключателя. Мнемосхема

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. Какие требования предъявляются к устройствам АВР?
2. В чем преимущества и недостатки схем электроснабжения с радиальным пита-

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. Допускается ли срабатывание УАВР, запускающегося только по признаку исчезновения напряжения и имеющего простейшую схему, при возникновении короткого замыкания на отходящем присоединении ближайшего выключателя рабочей цепи ?

5. Объясните назначение блок-контактов выключателей в цепях данного УАВР и укажите, где они конструктивно расположены на стенде.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Куксин, А. В. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие / А. В. Куксин. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 215 с. — ISBN 978-5-4497-0531-0. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/94929.html>

2. Горемыкин, С. А. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : практикум / С. А. Горемыкин, Н. В. Ситников. — Воронеж : Воронежский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021. — 71 с. — ISBN 978-5-7731-0933-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/111504.html>

3. Агафонов, А. И. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем : учебное пособие / А. И. Агафонов, Т. Ю. Бростилова, Н. Б. Джазовский. — 2-е изд. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. — 300 с. — ISBN 978-5-9729-0505-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/98355.html>

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Богданов, А.В. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматизации в электроэнергетических системах : учебное пособие / А.В. Богданов, А.В. Бондарев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет, Кумертауский филиал ОГУ. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 82 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 8-987-903550-43-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481747>

2. Соловьев, А. Л. Релейная защита городских электрических сетей 6 и 10 кВ : учебное пособие / А. Л. Соловьев, М. А. Шабад ; под редакцией А. В. Беляев. — Санкт-Петербург : Политехника, 2016. — 176 с. — ISBN 978-5-7325-1100-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/59516.html>

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	