

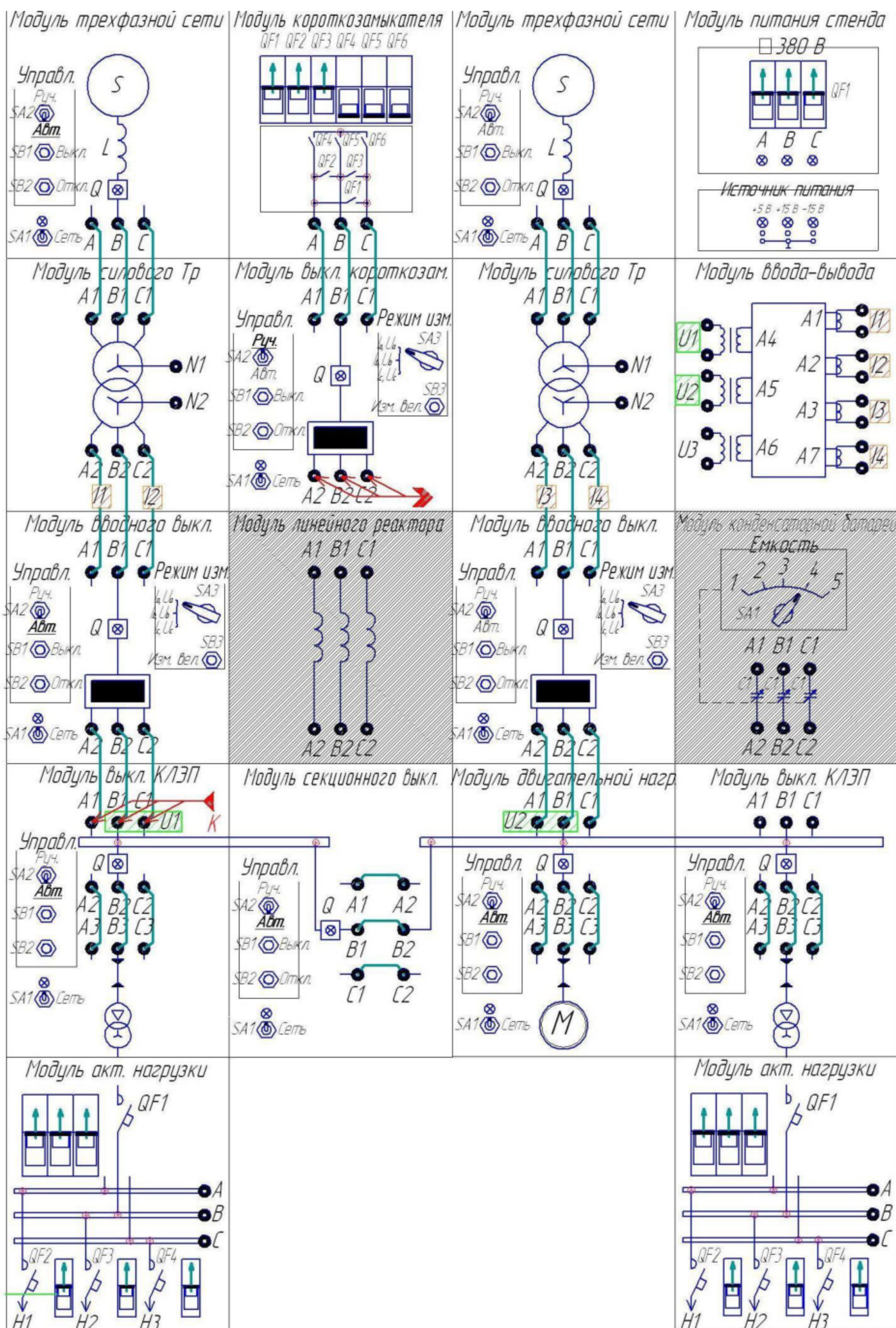
работы» в положение «отключено» в окне настройки параметров АВРСВ), дистанционно отключить выключатель Q5 и включить выключатель Q3, ввести АВР в работу (перевести переключатель «Режим работы» в положение «включено» в окне настройки параметров АВРСВ).

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.



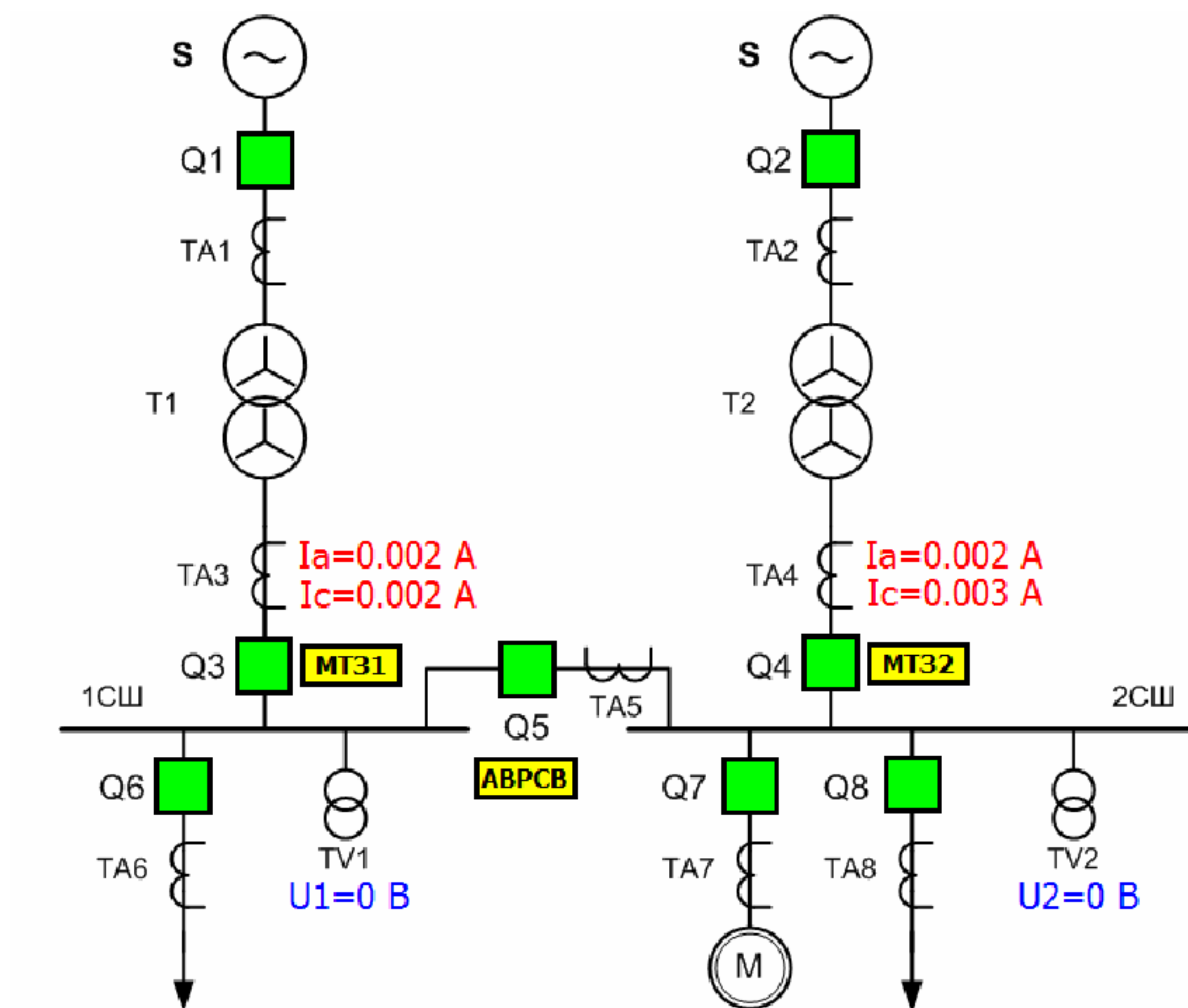
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Автоматическое резервное копирование секционного выключателя. 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	

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».
2. Методические рекомендации для подготовки к лабораторным работам по дисциплине «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».
3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

Указание по технике безопасности

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторной работы по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

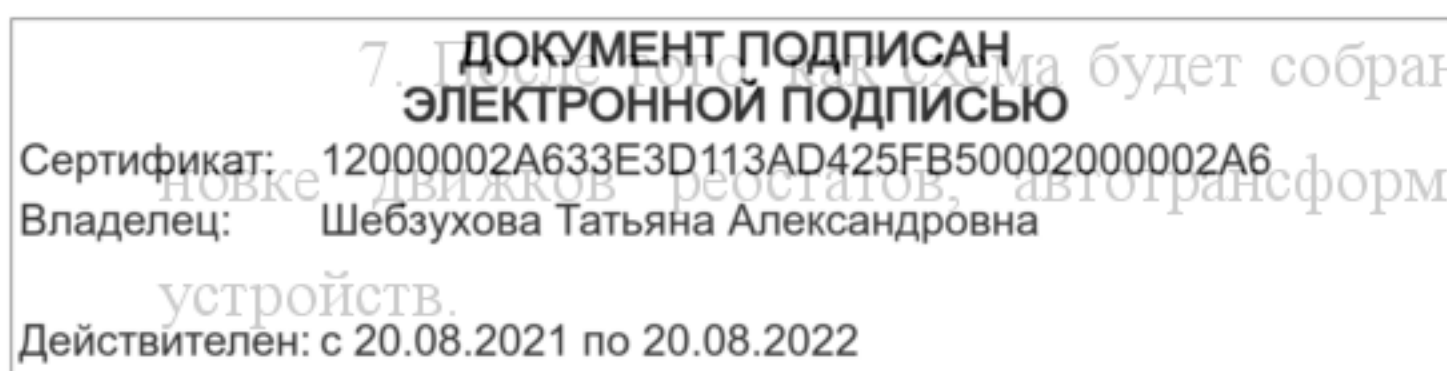
3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.

7. После того как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов и рукояток других регулирующих устройств.



8. Собранная схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан, не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

13. Категорически запрещается:

- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

Проверку наличия, подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,025 А уже является опасным для жизни.

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 практических работ
по дисциплине «РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

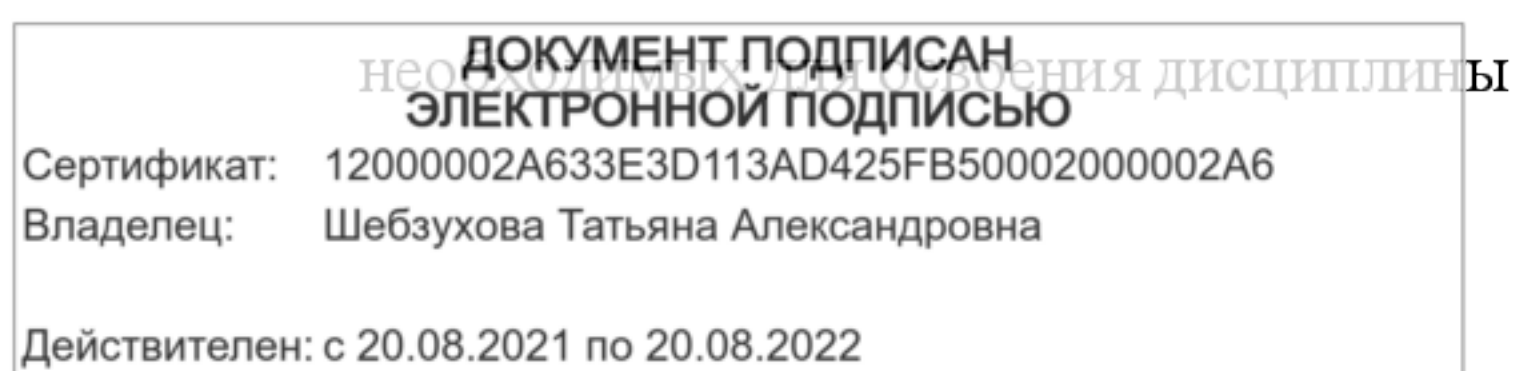
**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

№	Стр.
п/п	
	Введение
1.	Цель и задачи изучения дисциплины
2.	Оборудование и материалы
3.	Наименование практических работ
4.	Содержание практических работ
4.1	Практическая работа №1 Приведение именованных единиц к относительным, относительных единиц к именованным, относительных номинальных величин к относительным параметрам (э. д. с., напряжений, токов, мощностей и сопротивлений) элементов электрических цепей.
4.2	Практическая работа №2 Определение начального сверхпереходного тока в генераторе и на всех элементах схемы при металлическом трехфазном коротком замыкании на шинах системы.
4.3.	Практическая работа №3 Токовые и токовые направленные защиты линии электропередачи напряжением выше 1 кВ и их элементная база
4.4	Практическая работа №4 Дифференциальная защита генераторов/двигателей.
4.5	Практическая работа №5 Релейная защита трансформаторов.
4.6	Практическая работа №6 Определение расчётных нагрузок на трансформаторы тока.
4.7	Практическая работа №7 Расчёт полной и токовой погрешностей трансформаторов тока по кривым 10%-й погрешности.
4.8	Практическая работа №8 Дистанционные защиты линий.
4.9	Практическая работа №9 Расчет уставок максимальной токовой защиты.
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины
5.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
5.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет,



Введение

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью изучения дисциплины «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» является формирование знаний о принципах организации и технической реализации релейной защиты и автоматизации электроэнергетических систем.

Задачей изучения дисциплины является усвоение студентами основных принципов выполнения защит, как отдельных элементов, так и системы в целом, а также основных положений по расчету систем релейной защиты.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

3. Наименование практических работ

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
6 семестр			
1	Практическая работа №1. Приведение именованных единиц к относительным, относительных единиц к именованным, относительных номинальных величин к относительным параметрам (э. д. с., напряжений, токов, мощностей и сопротивлений) элементов электрических цепей. Получить практические навыки приведения именованных единиц к относительным.		
2	Практическая работа №2. Определение начального сверхпереходного тока в генераторе и на всех элементах схемы при металлическом трехфазном коротком замыкании на шинах системы. Получить практические навыки расчета и построения векторных диаграмм при КЗ в системах ЭС.	1,5	
3	Практическая работа №3. Токовые и токовые направленные защиты линии электропередачи напряжением выше 1 кВ и их элементная база		
4	Практическая работа №4. Дифференциальная защита генераторов/двигателей		

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

	Рассмотреть основные типы защит синхронных генераторов и асинхронных электродвигателей.		
5	Практическая работа №5. Релейная защита трансформаторов. Изучить основные типы повреждений и способы предотвращения аварий на силовых трансформаторах.		
6	Практическая работа №6. Определение расчётных нагрузок на трансформаторы тока. Определение расчетных нагрузок на трансформаторы тока (ТТ).		
7	Практическая работа №7. Расчёт полной и токовой погрешностей трансформаторов тока по кривым 10%-й погрешности. Определение токовой и полной погрешностей, сечений жил контрольных кабелей по кривым 10%-ной погрешности, максимального вторичного тока ТТ.	1,5	
8	Практическая работа №8. Дистанционные защиты линий. Изучить способы расчета дистанционных защит, которые сводятся к определению, сопротивлений срабатывания, выдержек времени и чувствительности отдельных дистанционных ступеней и пусковых органов защиты, параметры срабатывания и чувствительности защиты при качаниях.		
9	Практическая работа №9. Расчет уставок максимальной токовой защиты. Изучить методы расчета установок МТЗ.		
	Итого за 6 семестр:	3	
	Итого:	3	

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. Содержание практических работ

Практическая работа №1. Приведение именованных единиц к относительным, относительных единиц к именованным, относительных номинальных величин к относительным параметрам (э. д. с., напряжений, токов, мощностей и сопротивлений) элементов электрических цепей.

Цель: Получить практические навыки приведения именованных единиц к относительным.

Основы теории:

Параметры различных элементов электроэнергетических систем, а также параметры режима (напряжения, тока, мощности и т.д.) как и других физических величин, могут быть выражены как в системе ИМЕНОВАННЫХ, так и в системе ОТНОСИТЕЛЬНЫХ единиц, т.е. в долях от определенных значений этих же величин, принятых за единицу измерения. При этом точность результатов расчетов не зависит от используемой системы единиц измерения. Применение системы относительных единиц упрощает расчеты. Чтобы получить относительные значения различных физических величин, необходимо предварительно выбрать значения соответствующих величин, принятые за БАЗИСНЫЕ, т.е. в качестве единиц измерения.

Так, чтобы выразить параметры различных элементов схемы замещения электрической цепи и параметры режима в системе относительных единиц, необходимо иметь 4 базисные единицы:

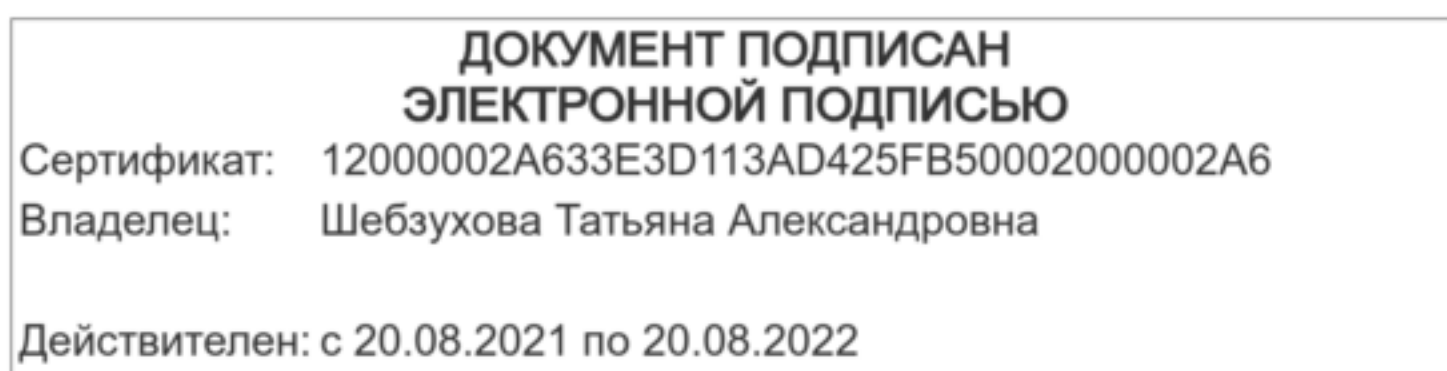
- базисное напряжение, U_B ;
- базисный ток, I_B ;
- базисную мощность (трехфазной системы), S_B ;
- базисное сопротивление, Z_B ;

Две из них выбираются произвольно, а две другие определяются из соотношения для мощности трехфазной системы:

$$S_{\phi} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi} \cdot U_{\phi}$$

И формулы закона Ома:

$$Z_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3}I_{\phi}}$$



Выбранные базисные единицы служат единицами измерения как полных величин, так и их составляющих. Иногда относительные значения величин выражают в %-х от соответствующих базисных единиц.

При выбранных базисных единицах относительные значения ЭДС, напряжения, тока, мощности и сопротивления определяют путем деления, значения соответствующей величины в именованных единицах на базисную единицу той же размерности:

$$E_{*б} = \frac{E}{U_б} \quad U_{*б} = \frac{U}{U_б} \quad I_{*б} = \frac{I}{U_б} \quad S_{*б} = \frac{S}{U_б} \quad Z_{*б} = \frac{Z}{U_б}$$

Где: * - указывает, что величина выражена в относительных единицах,

б – указывает, что она приведена к базисным условиям.

Из [1.4] и [1.6] следует, что относительные фазные и междуфазные напряжения одинаковы; так же численно одинаковы относительная фазная мощность и мощность трех фаз.

Из [1.2] и [1.7] можно получить расчетные формулы для вычисления относительного сопротивления, приведенного к базисным условиям:

$$Z_{*б} = \frac{Z}{Z_б} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_б}{U_б}$$

Если [1.8] умножим на $\frac{U_б}{U_б}$, то

$$Z_{*б} = Z \cdot \frac{\sqrt{3} I_б \cdot U_б}{U_б \cdot U_б} = Z \cdot \frac{S_б}{U_б^2}$$

Где: Z – заданное сопротивление на фазу [Ом],

$I_б$ - базисный ток [А, кА],

$U_б$ - базисное напряжение [В, кВ],

$S_б$ - базисная мощность трех фаз [В · А, МВ · А].

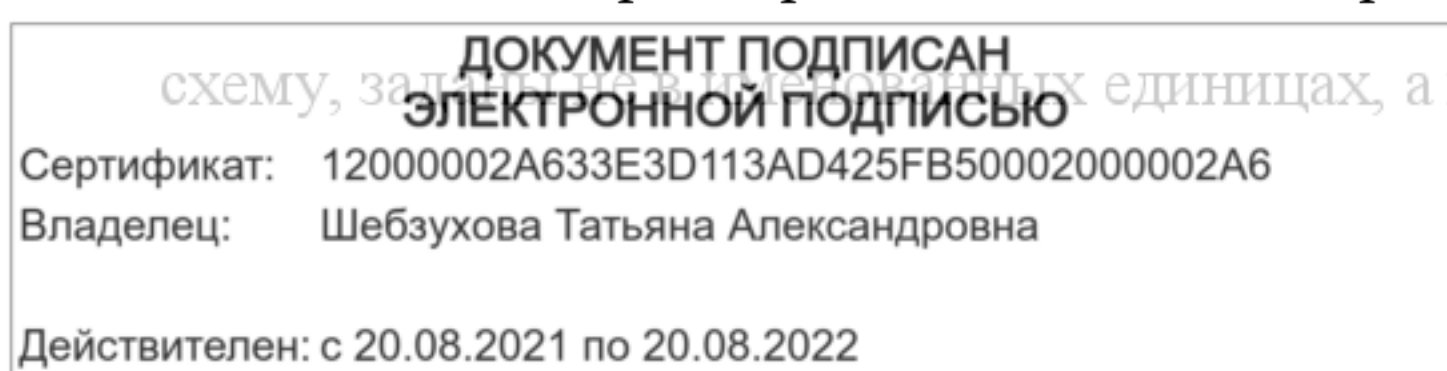
Задача 1.1. Индуктивное сопротивление линии электропередачи 110 кВ, $X_L=18$ Ом.

Выразить сопротивление линии $X_{л*}$ в относительных единицах, приняв за базисные трехфазную мощность $S_б = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ и междуфазное напряжение $U_б = 115 \text{ кВ}$.

$$x_{бл*} = x_{л*} \cdot \frac{S_б}{U_б^2} = 18 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,136.$$

Часто параметры элементов электроэнергетических схем, вводимых в расчетную

схему, заданы в относительных единицах, а в %-х или относительных единицах при номи-



нальных условиях. Это означает, что при выражении их в %-х или в относительных единицах в качестве базисных единиц были приняты номинальное напряжение $U_{НОМ}$ и номинальный ток $I_{НОМ}$ или номинальная мощность $S_{НОМ}$, т.е.

$$I_{б} = I_{НОМ}, U_{б} = U_{НОМ}, S_{б} = S_{НОМ}.$$

Подставляя в [1.8] и [1.9] вместо базисных величин номинальные данные элемента согласно [1.10], получим расчетные формулы номинальных относительных сопротивлений:

$$Z_{*НОМ} = Z \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{НОМ}}{U_{НОМ}},$$

$$Z_{*НОМ} = Z \cdot \frac{S_{НОМ}}{U_{НОМ}^2}.$$

Т.к. полное сопротивление трансформаторов численно равно U_k , трансформатора, то выражение его в %-х:

$$Z\% = 100 Z_{*}$$

По формулам [1.11]....[1.13] можно определить сопротивления элементов в именованных единицах по известным сопротивлениям в относительных единицах:

$$Z = \frac{Z_{*НОМ} \cdot U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot I_{НОМ}} = \frac{Z\% \cdot U_{НОМ}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{НОМ}} [Ом],$$

$$Z = Z_{*НОМ} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}} = \frac{Z\% \cdot U_{НОМ}^2}{100 \cdot S_{НОМ}} [Ом].$$

Для расчетов различных режимов электроэнергетических систем и токов К.З. прежде всего необходимо привести ЭДС и сопротивления всех элементов исходной расчетной схемы к одним базисным условиям.

Для приведения относительного сопротивления любого элемента, заданного при номинальных условиях, к базисным в [1.8] и [1.9] подставляем значение Z соответственно из [1.14] и [1.15]

$$Z_{*б} = Z_{*НОМ} \cdot \frac{I_{б} \cdot U_{НОМ}}{I_{НОМ} \cdot U_{б}},$$

$$Z_{*б} = Z_{*НОМ} \cdot \frac{S_{б} \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ} \cdot U_{б}^2}.$$

Для приведения напряжения, заданного в относительных единицах при номиналь-

ных условиях к базисным условиям воспользуемся определением относительного номинального напряжения.

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

$$U_{* \text{ ном}} = \frac{U}{U_{\text{ном}}}$$

Значение U из [1.18] подставляем в [1.4] и получим формулу пересчета к базисным условиям.

$$U_{* \text{ б}} = U_{* \text{ ном}} \cdot \frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{б}}}.$$

Аналогично

$$E_{* \text{ б}} = E_{* \text{ ном}} \cdot \frac{U_{\text{ном}}}{U_{\text{б}}}.$$

Задания:

Задание №1

Индуктивное сопротивление линии электропередачи 110 кВ $X_{\text{л}} = 18$ Ом. Выразить сопротивление линии $X_{* \text{ л}}$ в относительных единицах, приняв за базисную трехфазную мощность $S_{\text{б}} = 100$ МВ·А и междуфазное напряжение $U_{\text{б}} = 115$ кВ.

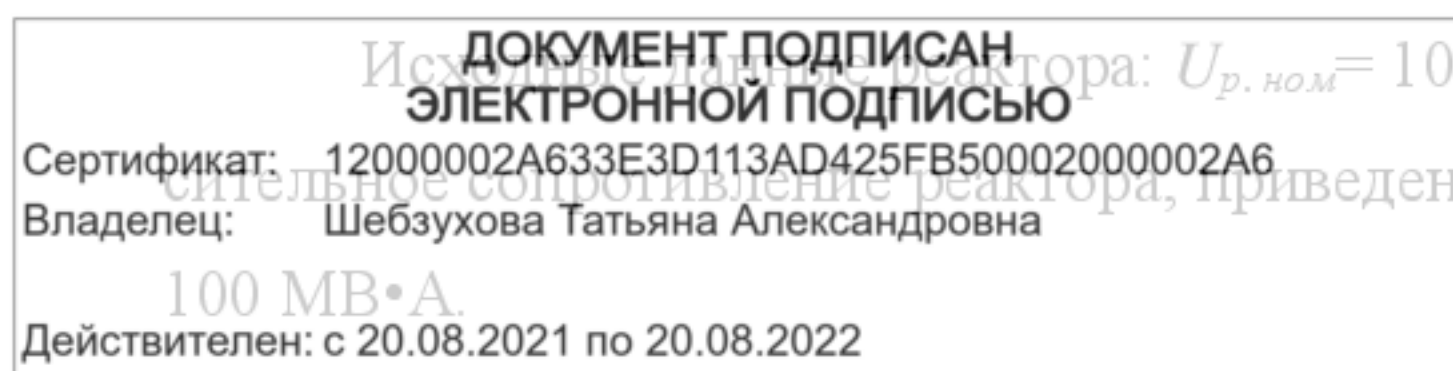
Задание №2

Определить полное сопротивление трехфазного двухобмоточного трансформатора в именованных единицах, приведенное к сторонам высшего и низшего напряжения (ВН и НН), а также в относительных единицах к базисным условиям, по исходным данным: номинальная мощность трансформатора $S_{\text{т. ном}} = 16$ МВ·А, номинальный коэффициент трансформации, т. е. отношение междуфазных напряжений на зажимах ВН и НН при холостом ходе, $k = U_{\text{ном. в н}} / U_{\text{ном. н н}} = 115 / 6,6$ кВ; напряжение короткого замыкания (к. з.) $U_{\text{н}} = 10,5\%$; базисные единицы $S_{\text{б}} = 100$ МВ·А, $V_{\text{б}} = 6,3$ кВ.

Задание №3

Определить реактивное (индуктивное) сопротивление $X_{\text{р}}$ и индуктивность $L_{\text{р}}$ двух реакторов по исходным данным: номинальный ток каждого $I_{\text{р. ном}} = 0,4$ кА, номинальное напряжение первого $U_{\text{р1 ном}} = 6$ кВ, второго $U_{\text{р2 ном}} = 10$ кВ, относительное реактивное сопротивление, приведенное к номинальным данным каждого из них, $X_{\text{л1 ном}} = X_{\text{л2 ном}} = 5\%$.

Задание №4



Исходные данные реактора: $U_{\text{р. ном}} = 10$ кВ; $I_{\text{р. ном}} = 600$ А; $X_{\text{р. ном}} = 4\%$ Вычислить относительное сопротивление реактора, приведенное к базисным условиям: $U_{\text{б}} = 10,5$ кВ; $S_{\text{б}} =$

Задание №5

Вычислить реактивное X_p (индуктивное), активное R_p и относительное номинальное реактивное сопротивление $x^*_{p. ном}$ реактора по исходным данным: $I_{ном} = 400$ А; $U_{p. ном} = 10$ кВ; номинальные активные р потери на фазу $P_{p. ном} = 4,61$ кВт.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Практическая работа №2. Определение начального сверхпереходного тока в генераторе и на всех элементах схемы при металлическом трехфазном коротком замыкании на шинах системы.

Цель: Получить практические навыки расчета и построения векторных диаграмм при КЗ в системах ЭС.

Основы теории:

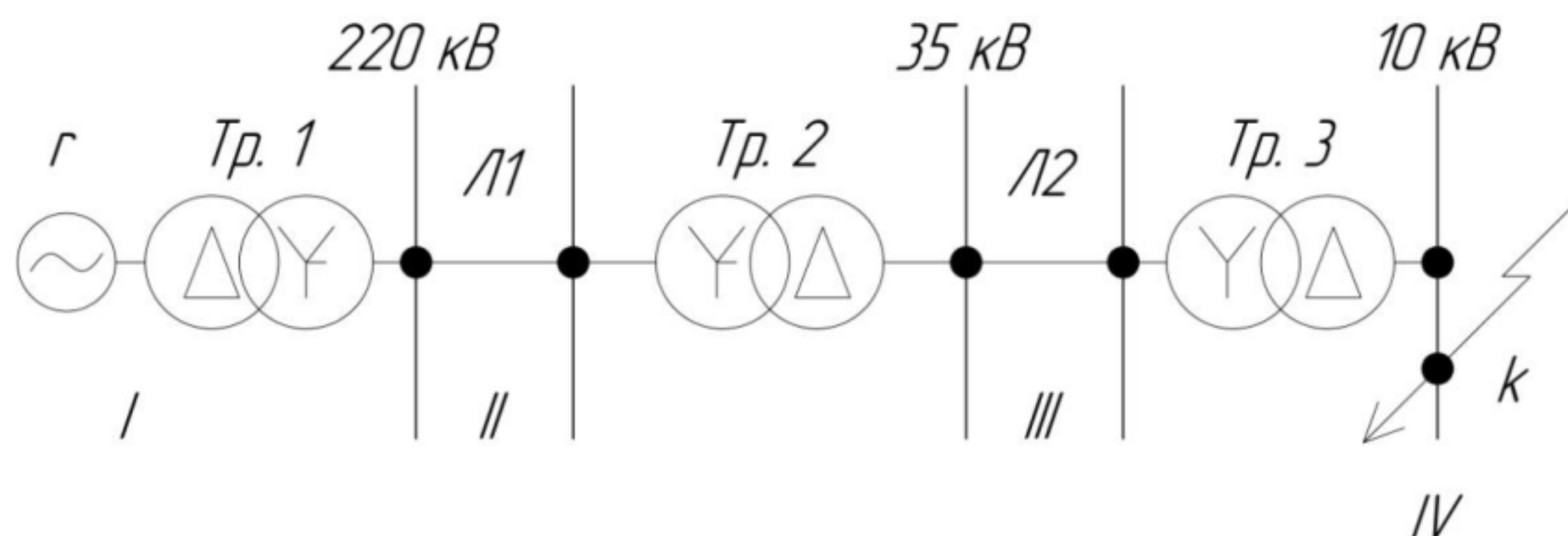
Под начальным сверхпереходным током понимают действующее значение периодической составляющей тока в начальный момент К.З.

Для вычисления токов К.З. при наличии в схеме трансформаторов и автотрансформаторов такую цепь представляют схемой замещения. В схеме замещения все магнито-связанные электрические цепи замещают одной эквивалентной электрически связанной цепью.

Составление такой схемы сводится к приведению параметров всех элементов и ЭДС различных ступеней трансформации заданной схемы к какой-либо одной ступени, которую принимают за основную. Само приведение осуществляется на основе соотношений, вытекающих из общих теории трансформаторов. В Р.З. расчет токов К.З. выполняют с учетом действительных коэффициентов трансформации.

При вычислении сверхпереходных токов генератор в схеме замещения представляют сверхпереходный ЭДС E_d'' и сверхпереходным индуктивным сопротивлением x_d'' .

Задача 2.1. Определить начальный сверхпереходной ток в генераторе Г (Рис. 2.1.) и на всех элементах схемы при металлическом трехфазном К.З. на шинах IV (точка К).



Рассчитываемая схема с трансформаторными связями.

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

$S = 117,5 \text{ МВ} \cdot \text{А}; U = 13,8 \text{ кВ}; x_{*d}'' = 0,138; \cos \varphi = 0,85;$

- Трансформатор Тр 1:

$$S = 125 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \quad k = \frac{242}{13,8} \frac{\text{кВ}}{\text{кВ}}; \quad U_{k.} = 11\%;$$

- Линия Л1:

$$\ell = 140 \text{ км}; \quad x_{y\delta} = 0,4 \text{ Ом} / \text{км}.$$

- Трансформатор Тр 2:

$$S = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \quad k = \frac{230}{38,5} \frac{\text{кВ}}{\text{кВ}}; \quad U_{k.} = 12\%;$$

- Линия Л2:

$$\ell = 20 \text{ км}; \quad x_{y\delta} = 0,4 \text{ Ом} / \text{км}.$$

- Трансформатор Тр 3

$$S = 6,3 \text{ МВ} \cdot \text{А}; \quad k = \frac{35}{11} \frac{\text{кВ}}{\text{кВ}}; \quad U_{k.} = 7,5\%.$$

На основании вышеизложенного составляем схему замещения

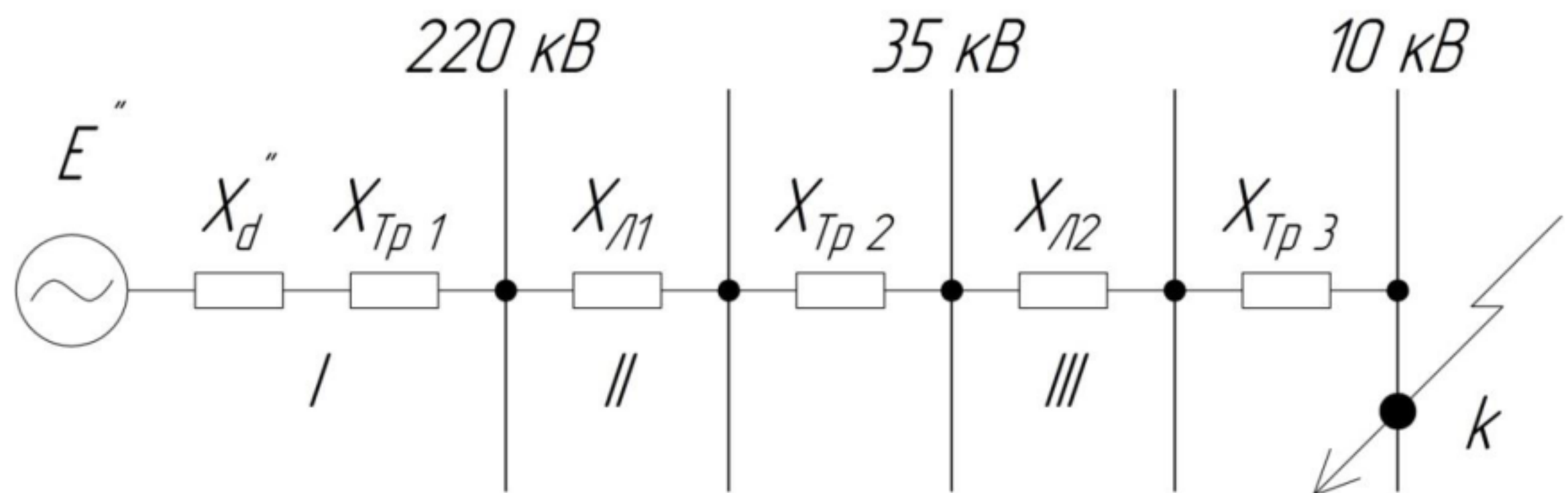


Схема замещения без трансформаторных связей и рассчитываем параметры отдельных элементов этой схемы.

За основную ступень принимаем ступень напряжения I , т.е. напряжение генератора

$$U_I = U_{осн.} = U_{Г.ном} = 13 \text{ кВ}; \text{ и к этому напряжению приводим все элементы схемы. При этом:}$$

- во всех случаях трансформаторы с соединением обмоток $Y - \Delta$ учитываются по схеме $Y - Y$;

- коэффициенты трансформации трансформаторов определяются в направлении от основной ступени напряжения.

Сверхпереходное сопротивление генератора определяем по формуле [1.15]

$$x_d'' = x_{*d}'' \cdot \frac{U_{Г.ном}^2}{S_{Г.ном}} = 0,138 \cdot \frac{13,8^2}{117,5} = 0,224 [\text{Ом}].$$

По этой же формуле определяем сопротивление трансформатора Тр 1, приведенное к его НН

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$\frac{U_{Тр1.кв.} \cdot \% \cdot U_{Тр1.ном.}^2}{100 \cdot S_{Тр1.ном.}} = \frac{11 \cdot 13,8^2}{100 \cdot 125} = 0,167 [\text{Ом}].$$

Приведенное сопротивление линии Л1 определяем по формуле:

$$x_{Л1.прив.} = \ell_{Л1} \cdot x_{Л1.уд.} \cdot k_{Tp1.}^2$$

$$x_{Л1.прив.} = 140 \cdot 0,4 \cdot \left(\frac{13,8}{242}\right)^2 = 0,182[Ом].$$

Приведенное сопротивление трансформатора Тр2 определяем по формулам [1.15] и [2.1]

$$x_{Тр2.прив.} = \frac{U_{Тр2.к.} \cdot \% \cdot U_{Тр2.ВН.}^2}{100 \cdot S_{Тр2.ном.}} \cdot k_{Tp1.}^2 = \frac{12 \cdot 230^2}{100 \cdot 100} \cdot \left(\frac{13,8}{242}\right)^2 = 0,207[Ом].$$

Приведенное сопротивление линии Л2 определяем по формуле:

$$x_{Л2.прив.} = \ell_{Л2} \cdot x_{Л2.уд.} \cdot k_{Tp1.}^2 \cdot k_{Tp2.}^2$$

$$x_{Л2.прив.} = 20 \cdot 0,4 \cdot \left(\frac{13,8}{242}\right)^2 \cdot \left(\frac{230}{38,5}\right)^2 = 0,93[Ом].$$

Приведенное сопротивление трансформатора Тр3 определяем по [1.15] и [2.2]

$$x_{Тр3.прив.} = \frac{U_{Тр3.к.} \cdot U_{Тр3.ВН.}^2}{100 \cdot S_{Тр3.ном.}} \cdot k_{Tp1.}^2 \cdot k_{Tp2.}^2 = \frac{7,5 \cdot 35^2}{100 \cdot 6,3} \cdot \left(\frac{13,8}{242}\right)^2 \cdot \left(\frac{230}{38,5}\right)^2 = 1,69[Ом].$$

Сверхпереходная ЭДС генератора в относительных единицах, отнесенных к его номинальным параметрам, определяется по формуле:

$$E''_{*Г.ном.} = \sqrt{(U_{Г.ном.} \cdot \cos \varphi_{Г.ном.})^2 + (U_{Г.ном.} \cdot \sin \varphi_{Г.ном.} + I_{*Г.ном.} \cdot X''_{*d})^2} \quad [2.3]$$

$$E''_{*Г.ном.} = \sqrt{(1 \cdot 0,85)^2 + (1 \cdot 0,53 + 1 \cdot 0,138)^2} = 1,08.$$

Тогда сверхпереходная междуфазная ЭДС не основной ступени

$$E'' = E''_{*Г.ном.} \cdot U_{Г.ном.} = 1,08 \cdot 13,8 = 14,9 кВ.$$

Приведенное к I ступени начальное значение сверхпереходного тока в генераторе при металлическом трехфазном К.З. на шинах IV(точка К) определяется по формуле:

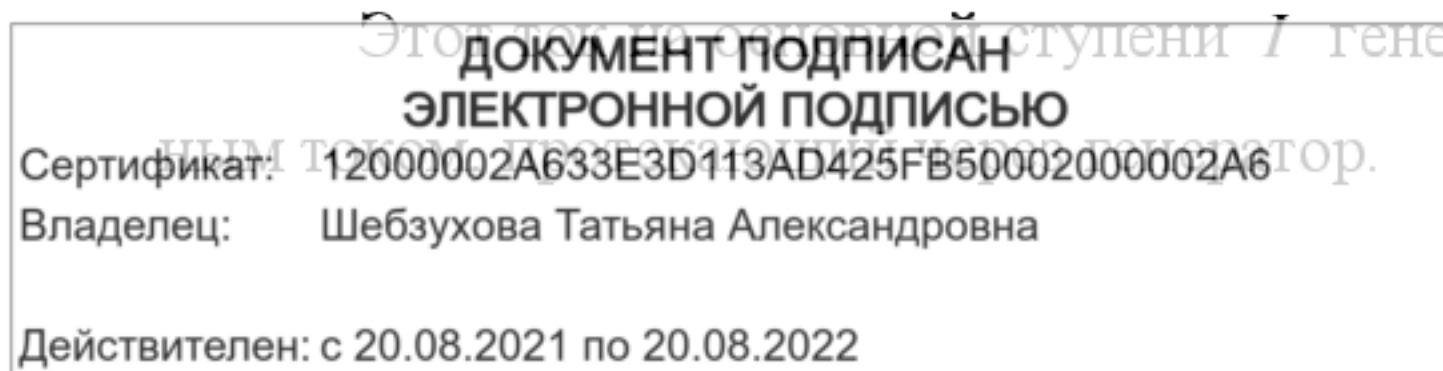
$$I_I^{''(3)} = I_{Кприв.}^{''(3)} = I_G^{''(3)} = \frac{E''}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma прив.}},$$

$$x_{\Sigma прив.} = x_d'' + x_{Tp1} + x_{Л1прив.} + x_{Тр2прив.} + x_{Л2прив.} + x_{Тр3прив.}.$$

$$x_{\Sigma прив.} = 0,224 + 0,167 + 0,182 + 0,207 + 0,93 + 1,69 = 3,4[Ом].$$

$$I_I^{''(3)} = I_{Кприв.}^{''(3)} = I_G^{''(3)} = \frac{14,9}{\sqrt{3} \cdot 3,4} = 2,53[kA].$$

Этот ток на основной ступени I генераторного напряжения является действитель-



Действительный (НЕ ПРЕВИДЕННЫЙ) ток в линии Л1, т.е. на II ступени напряжения, определяется по формуле:

$$I_{II}^{(3)} = I_{Л1}^{(3)} = I_I^{(3)} \cdot k_{Tp1}.$$

$$I_{Л1}^{(3)} = 2,53 \cdot \frac{13,8}{242} = 0,144[\text{кА}].$$

Действительный ток в линии Л2 т.е. на III ступени напряжения, определяется по формуле:

$$I_{III}^{(3)} = I_{Л2}^{(3)} = I_I^{(3)} \cdot k_{Tp1} \cdot k_{Tp2}$$

$$I_{Л2}^{(3)} = 2,53 \cdot \frac{13,8}{242} \cdot \frac{230}{38,5} = 0,862[\text{кА}].$$

Действительный ток на шинах IV, т.е. в месте К.З. определяется по формуле:

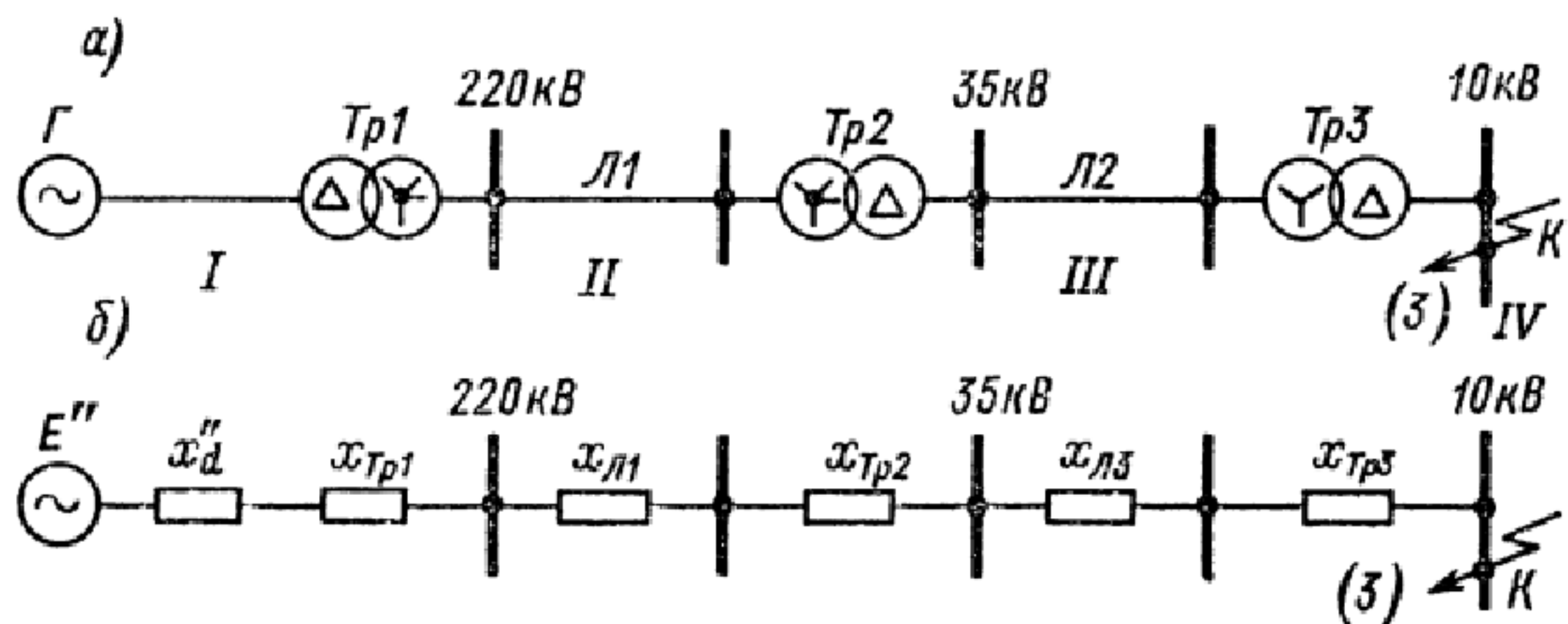
$$I_{IV}^{(3)} = I_k^{(3)} = I_I^{(3)} \cdot k_{Tp1} \cdot k_{Tp2} \cdot k_{Tp3}$$

$$I_k^{(3)} = 2,53 \cdot \frac{13,8}{242} \cdot \frac{230}{38,5} \cdot \frac{35}{11} = 2,75[\text{кА}].$$

Задания:

Задание №1

Определить начальный сверхпереходный ток в генераторе Г и на всех элементах схемы при металлическом трехфазном к. з. на шинах IV (точка К).

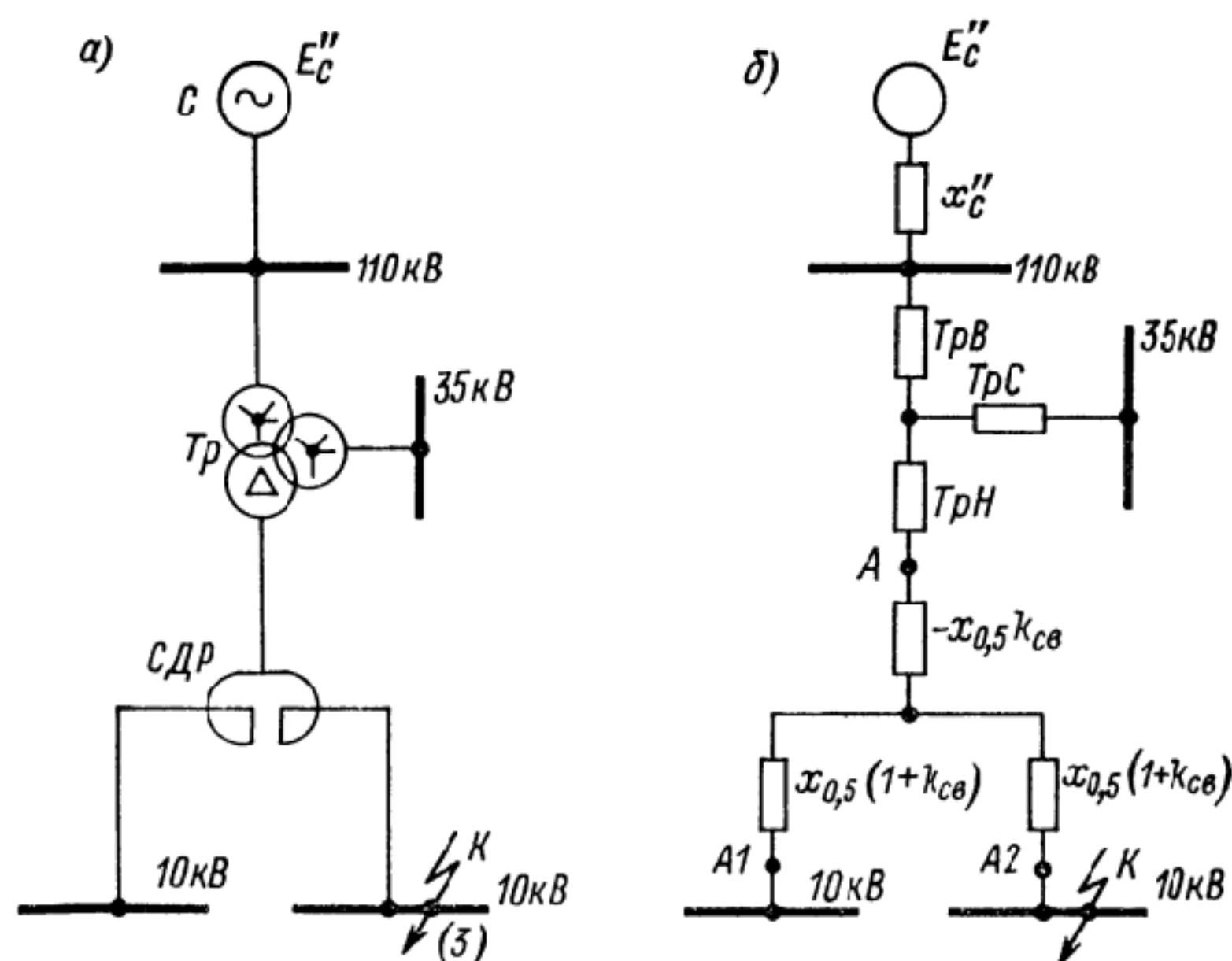


Исходные данные элементов схемы, следующие: генератор Г 117,5 МВ-А; 13,8 кВ; $x_d'' = 0,138$; $\cos\varphi = 0,85$; до момента к. з. нагрузка генератора соответствовала его номинальным параметрам; трансформатор Tr1 125 МВ-А; 242/13,8 кВ; $u_k = 11\%$; длина линии Л1 — 140 км; $\%d = 0,4 \text{ Ом/км}$; трансформатор Tr2 100 МВ-А; 230/38,5 кВ; $u_k = 12\%$; длина линии Л2 — 20 км; $\%d = 0,4 \text{ Ом/км}$; трансформатор Tr3 6,3 МВ-А; 35/11 кВ; $u_k = 7,5\%$.

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

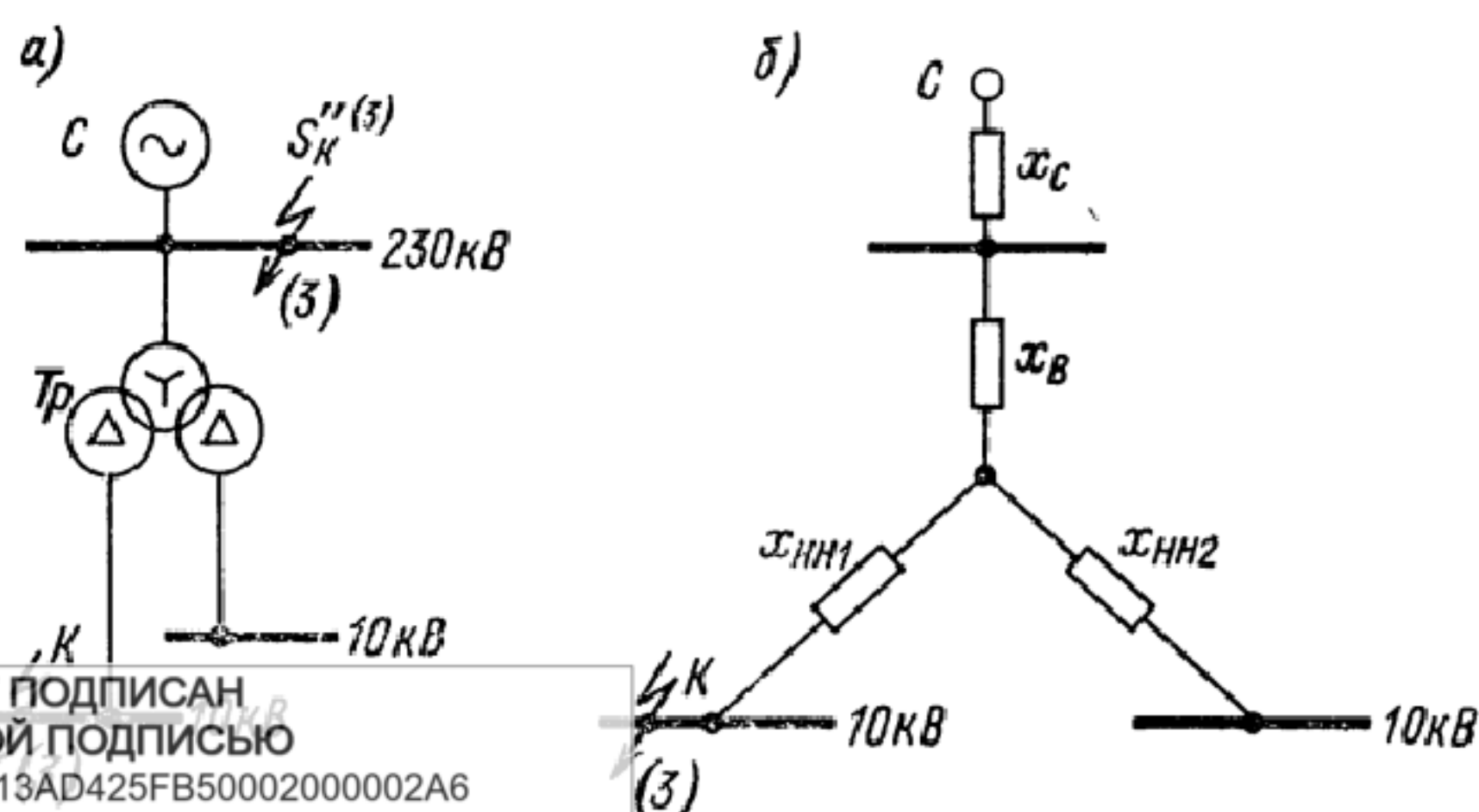
Задание №2

Произвести расчет начального сверхпереходного тока при трехфазном металлическом к. з. на шинах секции 10 кВ (точка К, рис. 1-3, а) по исходным данным: система 121 кВ; $x_c = 5,3$ Ом; трансформатор Тр 80 МВ-А; 115/38,5/11 кВ; $u_{к.вн-сн}=10,5\%$; $u_{к.вн-нн}=17\%$, $u_{кк}=6\%$, сдвоенный реактор — ток каждой ветви 3000 А, напряжение 10 кВ, номинальная реактивность одной ветви катушки при отсутствии тока в другой ветви $X_0=12\%$, коэффициент связи между двумя ветвями 0,47 [6].



Задание №3

Вычислить начальный сверхпереходный ток и остаточное напряжение на шинах неповрежденной секции 10 кВ при металлическом трехфазном к. з. на шинах другой секции 10 кВ по следующим данным: система — трехфазная мощность к. з. на шинах 230 кВ $S_K''(3) = 2000$ МВ-А; трансформатор Тр — тип ТРДЦН 63 МВ-А, 230/11/11 кВ; $u_{к.вн-нн}=12\%$ (данные по ГОСТ 15957—70).



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

Практическая работа №3. Токовые и токовые направленные защиты линии электропередачи напряжением выше 1 кВ и их элементная база

Цель: Изучить расчет МТЗ на оперативном токе и их элементную базу.

Основы теории:

Максимальная токовая защита является одной из основных защит в радиальных сетях напряжением до 35 кВ.

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

По характеру зависимости времени действия максимальной токовой защиты от тока они подразделяются на защиты с независимой характеристикой и зависимой.

По способу питания оперативных цепей максимальные токовые защиты делятся на защиты с постоянным и переменным оперативным током.

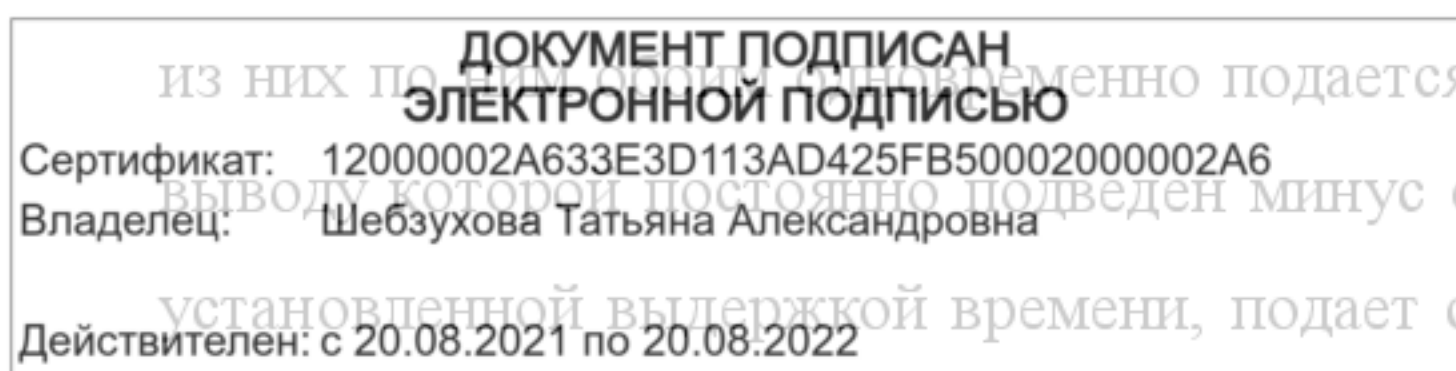
Максимальные токовые защиты могут выполняться по двухфазным и трехфазным схемам.

Наиболее распространенные схемы максимальных токовых защит для сетей с изолированной нейтралью приведены на рисунках 17-18. Особенностью этих сетей является отсутствие однофазных КЗ, что дает возможность применять для защиты от междофазных КЗ двухфазные схемы максимальных токовых защит. Эти же схемы могут применяться и для защиты сетей с заземленной нейтралью, если для защиты от однофазных КЗ применяется дополнительная защита, включенная на ток нулевой последовательности.

Для расширения зоны действия максимальной токовой защиты ее токовые реле подключаются к трансформаторам тока, установленным ближе к шинам. Если выключатель имеет встроенные трансформаторы тока, то защита подключается к ним со стороны шин.

На рис. 2 приведена схема максимальной токовой защиты с независимой характеристикой времени срабатывания на постоянном оперативном токе.

Схема включает два пусковых токовых реле мгновенного действия КА1 и КА2 (типа РТ-40), одно реле времени КТ (типа ЭВ-121 или ЭВ-131) и одно указательное реле КН (типа РУ-21). Контакты токовых реле соединены параллельно, поэтому при срабатывании любого



плюс на обмотку реле времени, ко второму оперативного тока. Реле времени, сработав с своим контактом плюс оперативного тока на

отключающую катушку YAT привода выключателя через указательное реле КН и вспомогательный контакт SQ, связанный с приводом выключателя. Указательное реле фиксирует срабатывание защиты и прохождение тока через YAT.

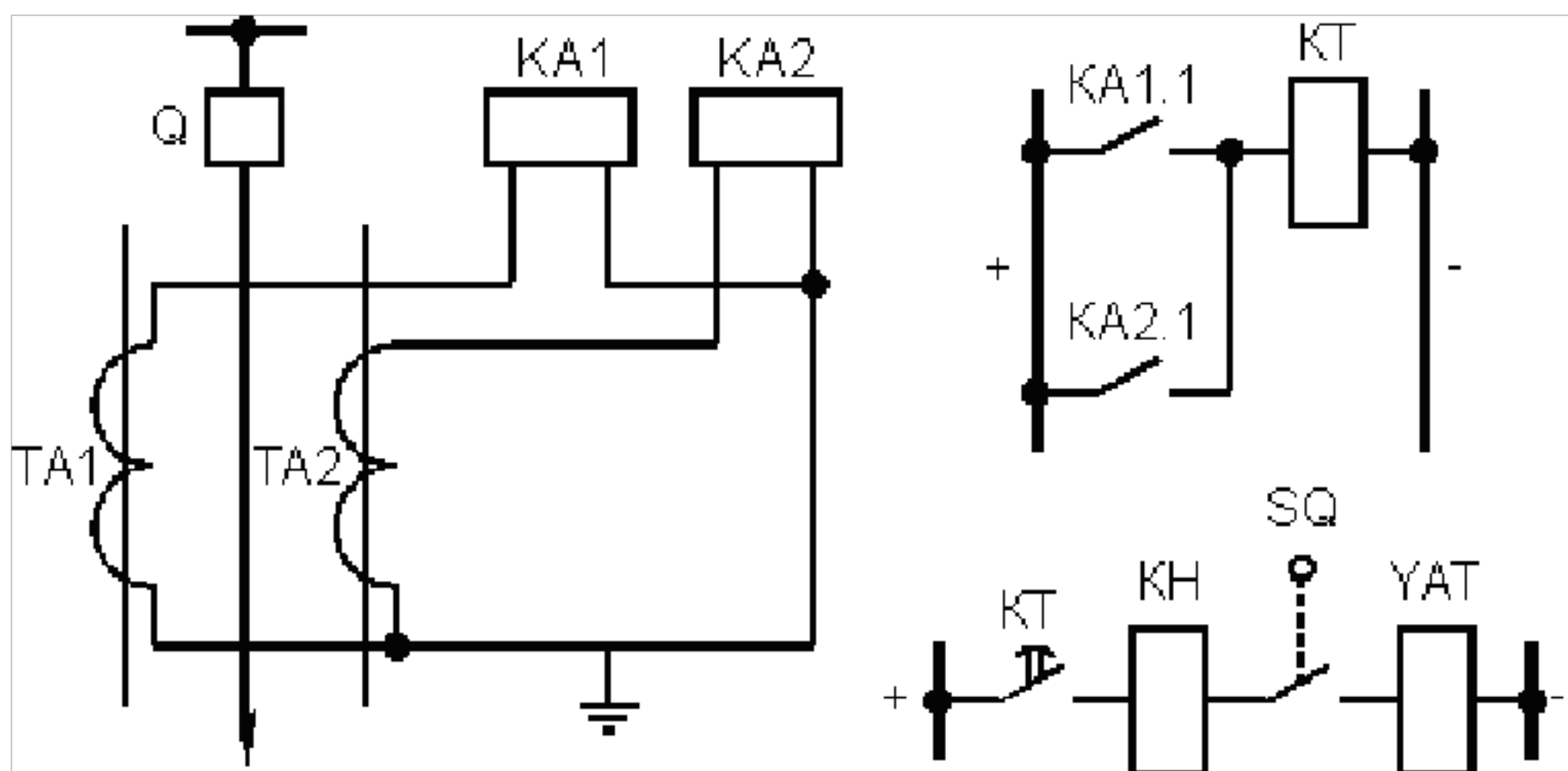


Рисунок 2 – Схема двухфазной максимальной токовой защиты с независимой характеристикой времени срабатывания на постоянном оперативном токе.

Вспомогательный контакт SQ, замыкающийся при включении и размыкающийся при отключении выключателя, имеет два назначения. При отключении выключателя прекращается прохождение тока КЗ, вследствие чего происходит возврат в исходное положение в начале токовых реле, а затем реле времени. Так как контакты реле времени не рассчитаны на размыкание цепи катушек отключения, которые имеют большое потребление (2,5 – 10 А), то размыкание этой цепи производится вспомогательным контактом до того, как начнут размыкаться контакты реле времени. Таким образом, первым назначением вспомогательного контакта является предотвращение повреждения контактов реле времени при возврате защиты после отключения выключателя.

Если после отключения выключателя контакты реле времени останутся в замкнутом состоянии (например, из-за неисправности реле), то по отключающей катушке будет длительно протекать ток, который может привести к повреждению, так как она рассчитана только на кратковременное прохождение тока. Вспомогательный контакт, размыкая цепь отключения, защищает отключающую катушку от повреждения, что и является его вторым назначением.

На рис.18 приведена также двухфазная схема максимальной токовой защиты с независимой характеристикой времени срабатывания, но на оперативном переменном токе.

Схема включает в себя катушки отключения KA1 и KA2 (типа РВМ-12 или РВМ-13), одно указательное реле КН и два промежуточных реле KL1 и KL2 (типа РП-341). Токовые реле при срабатывании

замыкают цепь вторичных обмоток промежуточных трансформаторов реле времени TL_A и TL_C на обмотку электродвигателя реле времени KT . При этом во избежание отказа реле времени при двухфазном КЗ между фазами А и С цепь обмотки TL_C разрывается размыкающим контактом $KA1.2$.

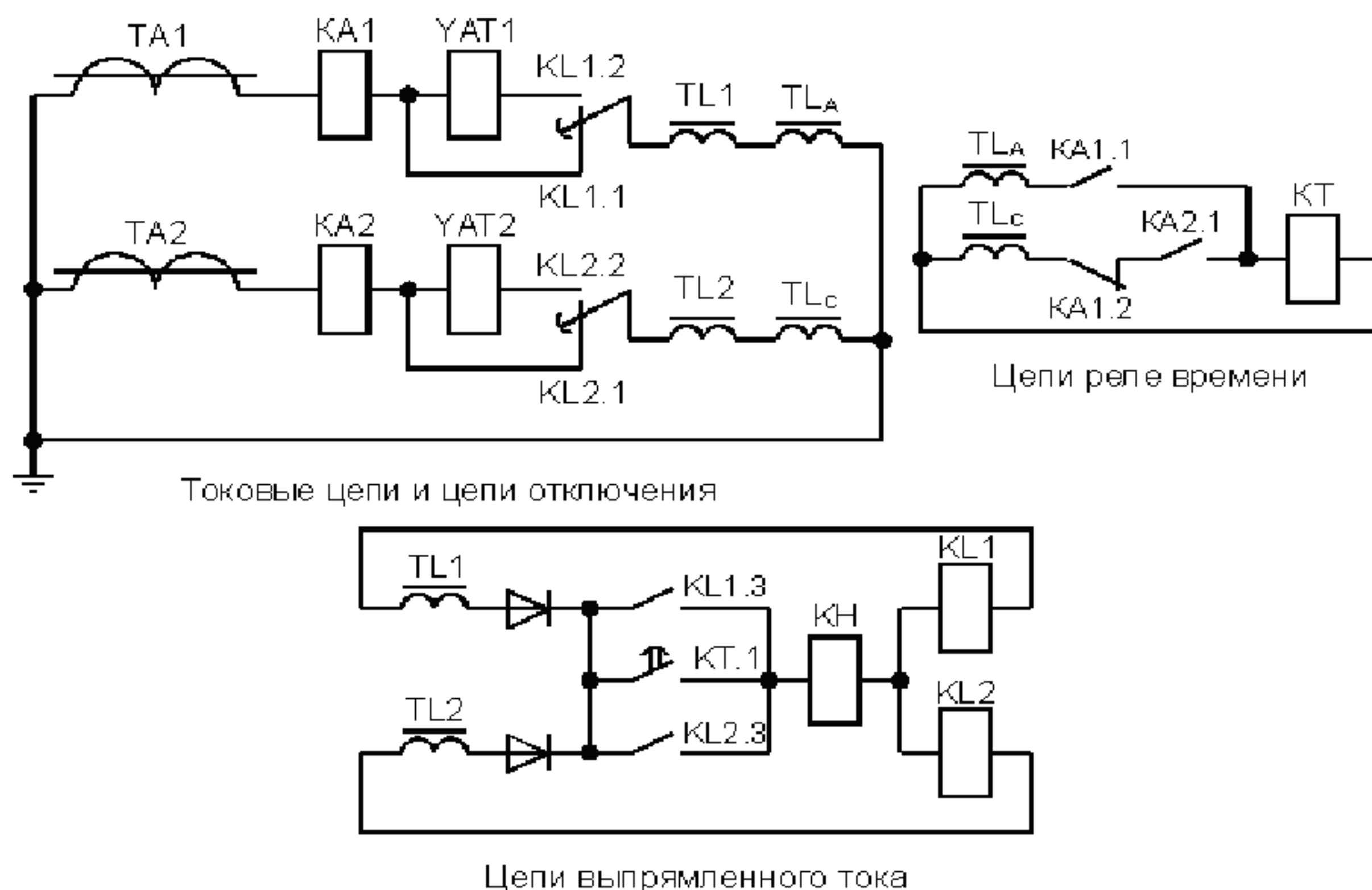


Рисунок 3 – Принципиальная схема двухфазной максимальной токовой защиты с независимой характеристикой времени срабатывания на переменном оперативном токе

Реле времени, сработав, своим контактом $KT.1$ замыкает цепи вторичных обмоток промежуточных трансформаторов на обмотки промежуточных реле $KL1$ и $KL2$. Промежуточные реле, сработав, производят следующие действия: мощными переключающими контактами $KL1.1$, $KL1.2$, $KL2.1$ и $KL2.2$ включают соответствующие отключающие катушки $YAT1$ и $YAT2$ в цепи $TA1$ и $TA2$, а контактами $KL1.3$ и $KL2.3$ шунтируют контакт реле времени $KT.1$.

Шунтирование контактов реле времени необходимо потому, что после включения отключающих катушек ток от трансформаторов тока может настолько снизиться, что пусковые токовые реле и реле времени разомкнут свои контакты и произойдет преждевременный возврат промежуточных реле. Шунтирование контактов реле времени обеспечивает в этих случаях надежное действие защиты независимо от состояния контактов пусковых реле

При использовании такой схемы погрешность трансформаторов тока не должна превышать 10% только до момента срабатывания промежуточных реле. После их срабатывания и подключения отключающих катушек трансформаторы тока должны давать ток, обеспечивающий надежное действие (срабатывание) отключающих катушек. Погрешность трансформатора тока при этом значения не имеет.

После срабатывания отключающих катушек и отключения выключателя ток в цепи трансформатора тока прекращается и все реле возвращаются в исходное положение при отсутствии оперативного тока. Поэтому при питании защиты оперативным переменным током вспомогательный контакт в цепи катушки отключения выключателя становится ненужным.

Исходным для выбора тока срабатывания максимальной токовой защиты от КЗ является требование, чтобы она надежно работала при повреждениях, но в то же время не действовала при максимальных токах нагрузки, кратковременном увеличении тока, вызванном пуском и самозапуском двигателей, колебанием нагрузки.

Условия выбора тока срабатывания:

1. Токовые реле защиты не должны приходить в действие при максимальном рабочем токе нагрузки $I_{\text{раб. max}}$.

2. Токовые реле, сработавшие при внешнем КЗ должны надежно возвращаться в исходное положение после отключения КЗ и снижения тока до максимального тока нагрузки. Например, при КЗ в точке К2 (рис. 19) после отключения повреждения защитой МТЗ2, протекание тока КЗ прекращается и пришедшее в действие токовое реле защиты МТЗ1 должно возвратиться в начальное положение, так как иначе произойдет неселективное отключение неповрежденной линии W1. Поэтому ток возврата защиты $I_{\text{в.з}}$ должен быть больше тока нагрузки линии, проходящего через защиту МТЗ1 после отключения КЗ:

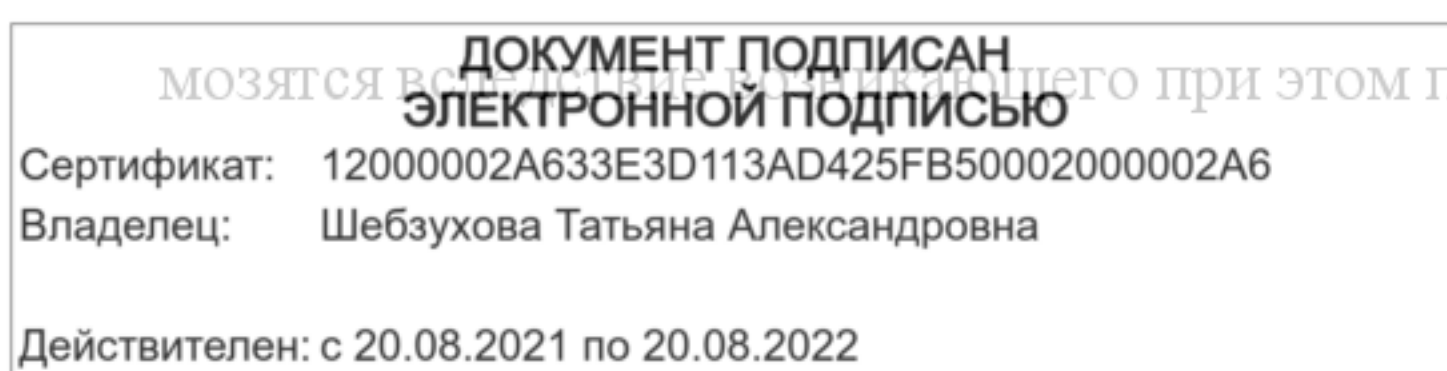
$$I_{\text{в.з}} > I_{\text{раб. max}}$$

Так как $k_{\text{в}} = I_{\text{в.з}} / I_{\text{с.з}}$, то ток срабатывания защиты по второму условию:

$$I_{\text{с.з}} > I_{\text{раб. max}} / k_{\text{в}}$$

3. В первый момент времени после отключения КЗ ток, проходящий через защиту МТЗ1 (рис. 4) имеет повышенное значение из-за пусковых токов электродвигателей. Асинхронные электродвигатели, составляющие значительную часть нагрузки, в время КЗ тор-

мосятся вследствие понижения напряжения. После отключения КЗ



напряжение восстанавливается и все оставшиеся в работе двигатели самозапускаются, потребляя повышенный пусковой ток. Этот ток постепенно затухает и в линии устанавливается рабочий ток, который не превышает $I_{\text{раб. max}}$.

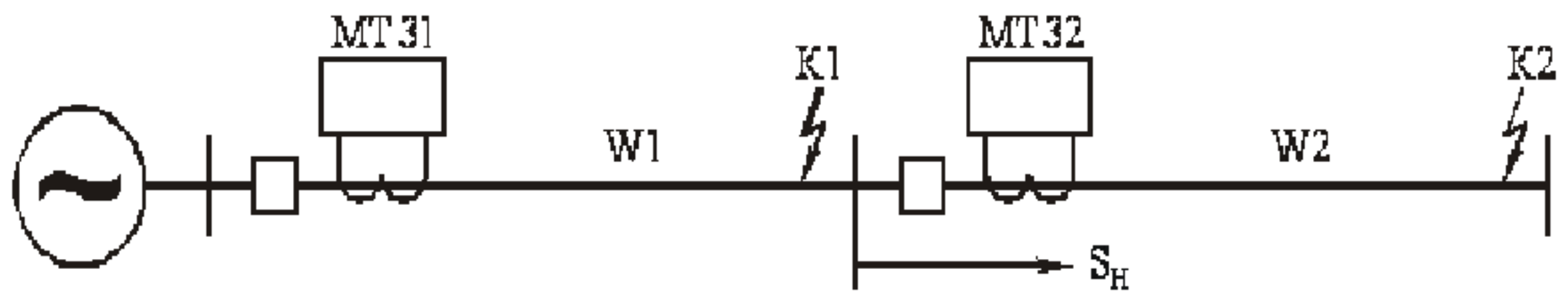


Рисунок 4 – Схема защиты линии

Увеличение $I_{\text{раб. max}}$, вызванное самозапуском двигателей, оценивается коэффициентом запуска k_z :

$$I_{\text{с.з}} > k_z \cdot I_{\text{раб. max}}$$

С учетом всех трех условий ток срабатывания максимальных токовых защит определяется по формуле:

$$I_{\text{с.з}} = k_{\text{отс}} \cdot k_z \cdot I_{\text{раб. max}} / k_{\text{в}},$$

где $k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешности расчета и работы реле, принимаемый равным $k_{\text{отс}} = 1,1-1,2$.

Вторичный ток срабатывания реле $I_{\text{с.р}}$ находится с учетом коэффициента трансформации трансформаторов тока k_I и коэффициента схемы включения реле $k_{\text{сх}}$:

$$I_{\text{с.р}} = k_{\text{сх}} \cdot I_{\text{с.з}} / k_I$$

Чувствительность защиты проверяется по минимальному значению тока $I_{\text{кз. min}}$ при повреждении в конце зоны защиты (точка K1). Коэффициент чувствительности для MT31 должен быть не менее 1,5:

$$k_{\text{ч1}} = \frac{I_{\text{кз. min(к1)}}}{I_{\text{с.з}}} > 1,5$$

При КЗ на резервируемом участке (линия W2) допускается коэффициент чувствительности больший или равный 1,2:

$$k_{\text{ч2}} = \frac{I_{\text{кз. min(к2)}}}{I_{\text{с.з}}} > 1,2$$

где $I_{кз.min(\kappa 2)}$ – минимальный ток КЗ в конце резервируемого участка (линия W2).

Выдержки времени максимальной токовой защиты с независимой характеристикой времени срабатывания выбираются по ступенчатому принципу, который состоит в том, что каждая последующая защита в направлении от потребителей к источнику питания имеет выдержку времени больше предыдущей. Выбор выдержек времени должен начинаться с самых удаленных от источника питания потребителей (рис.20).

Для того чтобы при повреждении на нагрузке (S_H) не отключилась линия W3, ее защита должна иметь выдержку времени $t_{с.з3}$ большую, чем $t_{с.з4}$ на величину Δt называемую ступенью селективности:

$$t_{с.з3} = t_{с.з4} + \Delta t.$$

Ступень селективности Δt должна быть такой, чтобы успели сработать защита и отключиться выключатель на поврежденном участке, прежде чем истечет выдержка времени защиты на следующем неповрежденном участке:

$$\Delta t = t_{вык} + \Delta t_{км1} + \Delta t_{км2} + t_{зан},$$

где $t_{вык}$ – время отключения выключателя; $\Delta t_{км1}$ и $\Delta t_{км2}$ – погрешности реле времени защит поврежденного участка и следующего к источнику питания соответственно; $t_{зан}$ – время запаса.

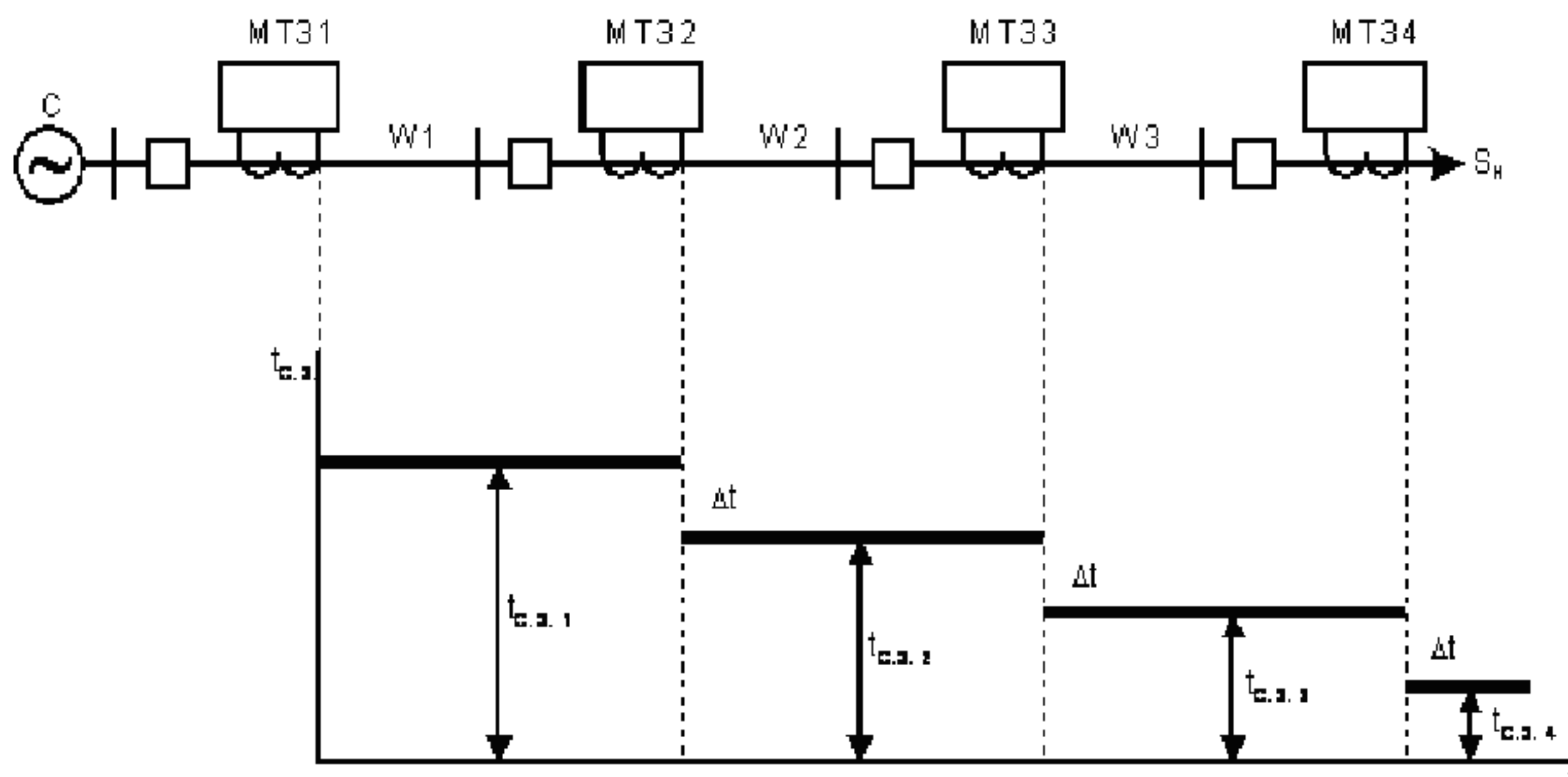


Рисунок 5 – Выбор времени срабатывания максимальных токовых

Степень селективности должна вычисляться с учетом типов установленных выключателей и типов реле времени и обычно составляет:

$$\Delta t = 0,4-0,6 \text{ с.}$$

При выборе выдержки времени максимальной токовой защиты с зависимой характеристикой времени срабатывания действует тот же принцип, что и у максимальных токовых защит с независимой характеристикой – наиболее удаленная от источника питания защита должна иметь меньшую выдержку времени срабатывания. С учетом того, что время срабатывания максимальной токовой защиты с зависимой характеристикой времени срабатывания определяется величиной тока протекающего через защиту, согласование следует производить при строго определенных значениях токов КЗ. В качестве расчетной точки принимается начало следующего элемента.

Выдержки времени защит с зависимой характеристикой определяются по условию селективности:

$$t_{c.33} = t_{c.34} + \Delta t .$$

Но поскольку время действия этих реле зависит от тока, необходимо задавать пределы тока, при которых это условие должно выполняться.

Пусть линии W1 и W2 оборудованы максимальными токовыми защитами с зависимой характеристикой и требуется выбрать характеристику защиты линии W1 (MT31) (рис.21) и согласовать ее с характеристикой защиты линии W2 (MT32), которая известна.

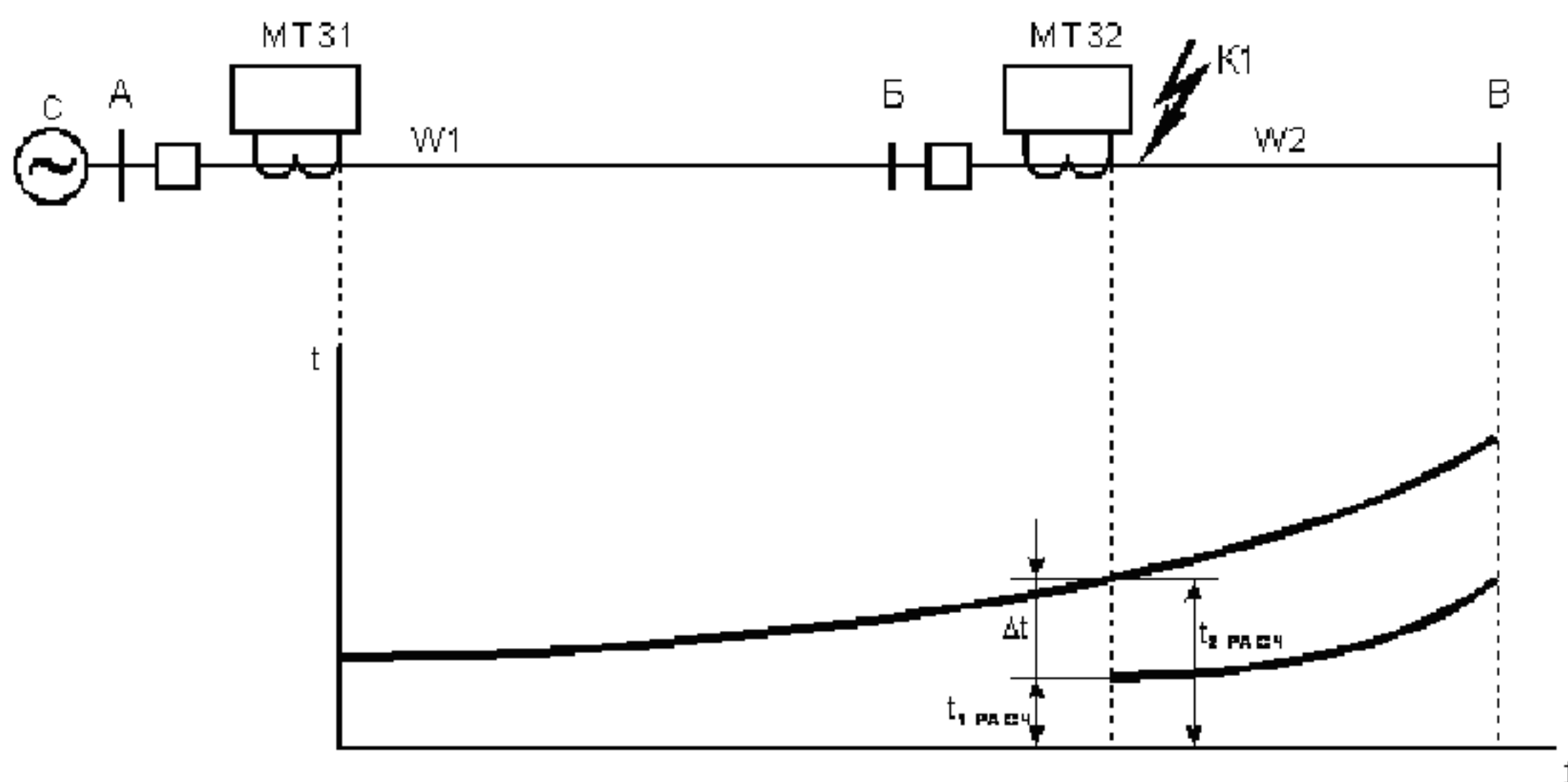


Рисунок 6 – Согласование максимальных токовых защит с зависимой характеристикой

Защита линии W1 должна иметь время срабатывания на ступень селективности больше защиты линии W2 при всех КЗ в пределах совместного действия МТЗ1 и МТЗ2, то есть на линии W2. Если при КЗ в точке К1 (начало линии W2) ток, проходящий через защиты равен $I_{кз(к1)max}$, то при всех КЗ за точкой К1, то есть в зоне работы защиты МТЗ2 токи будут меньше. Следовательно, если выполнить условие селективности в точке К1, то защита МТЗ1 будет действовать селективно и при КЗ в других точках W2.

Порядок выбора зависимых характеристик:

1. Строится исходная характеристика защиты МТЗ2 $t=f(I)$ (рис.22);
2. Определяется максимальное значение тока КЗ $I_{кз(к1)max}$ при повреждении в начале линии W2 (точка К1 рис. 7);

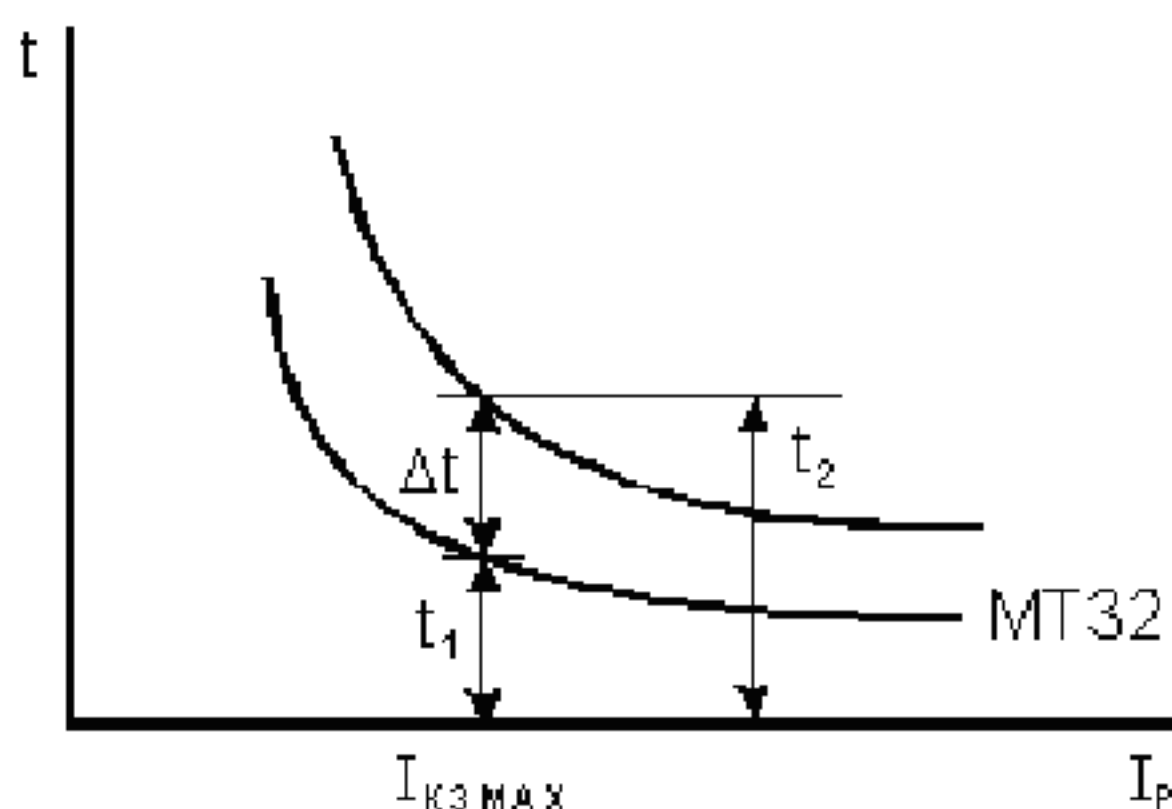


Рисунок 7 – График селективности срабатывания МТЗ

3. Пользуясь заданной характеристикой защиты МТЗ2, находят ее выдержку t_1 при токе $I_{кз(к1)max}$;
4. По условию селективности выбирается время срабатывания защиты МТЗ1 при КЗ в точке К1:

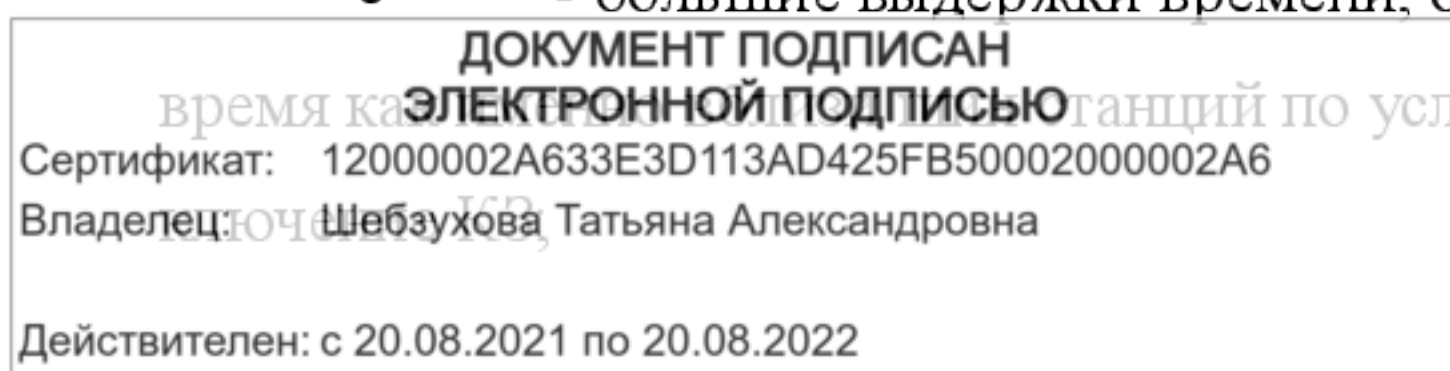
$$t_2 \geq t_1 + \Delta t.$$

5. По точке с координатами $(I_{кз(к1)max}, t_2)$ строят характеристику защиты МТЗ1.

Достоинствами максимальных токовых защит являются: простота, надежность, небольшая стоимость.

Недостатки максимальных токовых защит:

- - большие выдержки времени, особенно вблизи источников питания, в то время как по условию устойчивости необходимо быстрое от-



- - недостаточная чувствительность при КЗ в разветвленных сетях с большим числом параллельных цепей и значительными токами нагрузки;
- - селективность соблюдается, как правило, только в радиальных сетях с односторонним питанием.

Максимальные токовые защиты получили наиболее широкое распространение в радиальных сетях всех напряжений. В сетях 10 кВ и ниже они являются основными защитами.

Отсечка является разновидностью токовой защиты, позволяющей обеспечить быстрое отключение КЗ. Токовые отсечки подразделяются на отсечки мгновенного действия и отсечки с выдержкой времени (порядка 0,3-0,6 с).

Селективность действия мгновенных токовых отсечек достигается ограничением их зоны работы так, чтобы они не действовали при КЗ на смежных участках сети, защита которых имеет равную или большую выдержку времени. Для этого ток срабатывания отсечки должен быть больше максимального тока КЗ, проходящего через защиту при повреждении в конце выбранной зоны действия.

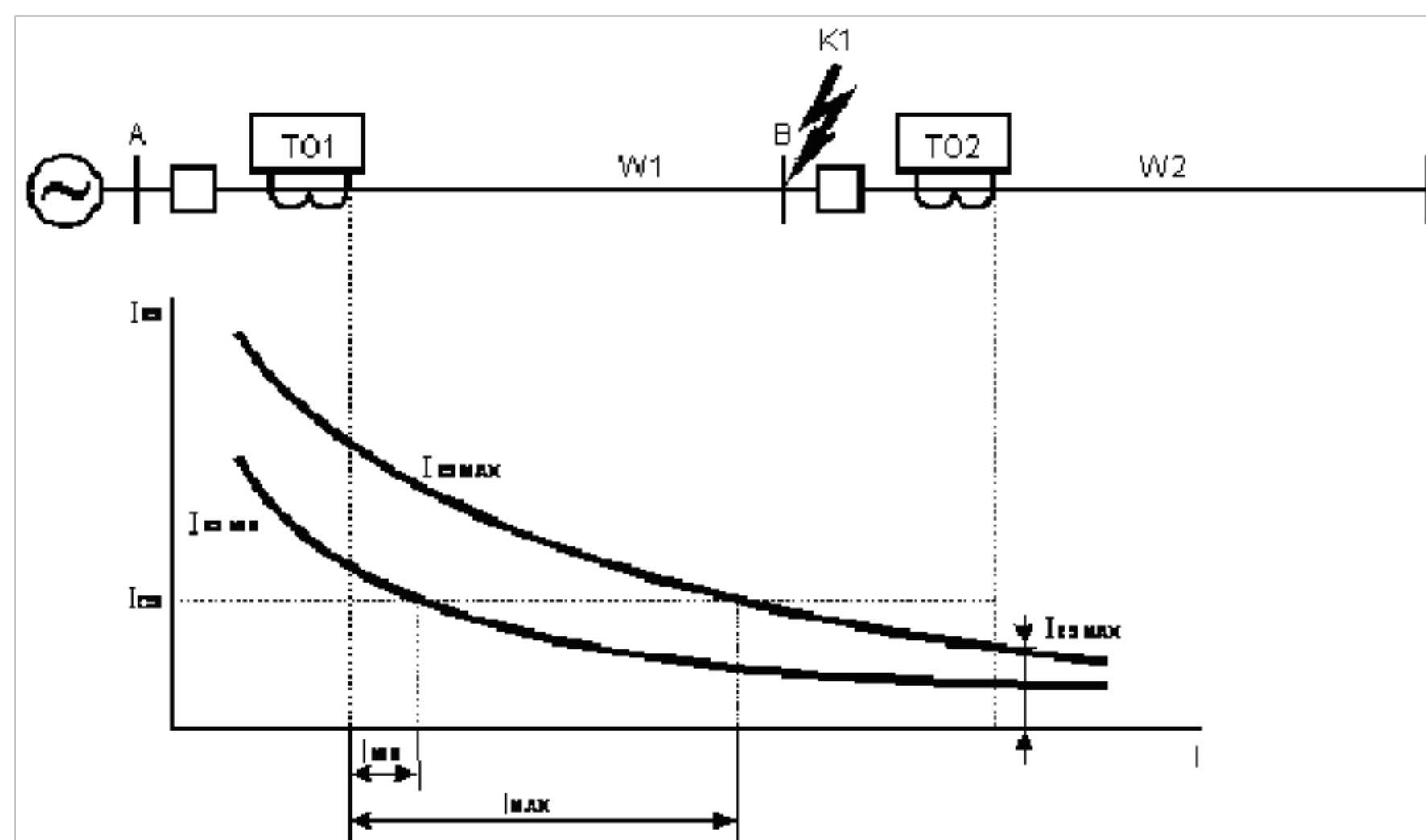


Рисунок 8 – Определение защищаемой зоны токовой отсечки

Выбор тока срабатывания токовой отсечки ТО1 производится из условия несрабатывания при КЗ в точке К1:

$$I_{с.з} = k_{отс} \cdot I_{кз(к1)max}^{(3)},$$

где $k_{отс} = 1,2-1,3$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешность в расчете

тока КЗ и погрешность в токе срабатывания реле; $I_{кз(к1)max}^{(3)}$ – максимальное значение тока

КЗ в точке К1

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

определяется графически. Обычно строятся кривые тока КЗ $I_{кз} = f(l)$ (рис. 8) для минимального и максимального режимов.

Зона действия отсечки зависит от крутизны кривой спада тока по длине линии. Чем больше различаются токи КЗ в начале и конце линии, тем больше получается зона, охватываемая отсечкой.

Согласно ПУЭ рекомендуется применять токовую отсечку, если ее зона действия ($\ell_{\min}$) охватывает не меньше 20% защищаемой линии.

При схеме работы линии блоком с трансформатором (рис.9) отсечку отстраивают от тока КЗ за трансформатором в точке К1. В этом случае отсечка защищает всю линию и оказывается весьма эффективной.

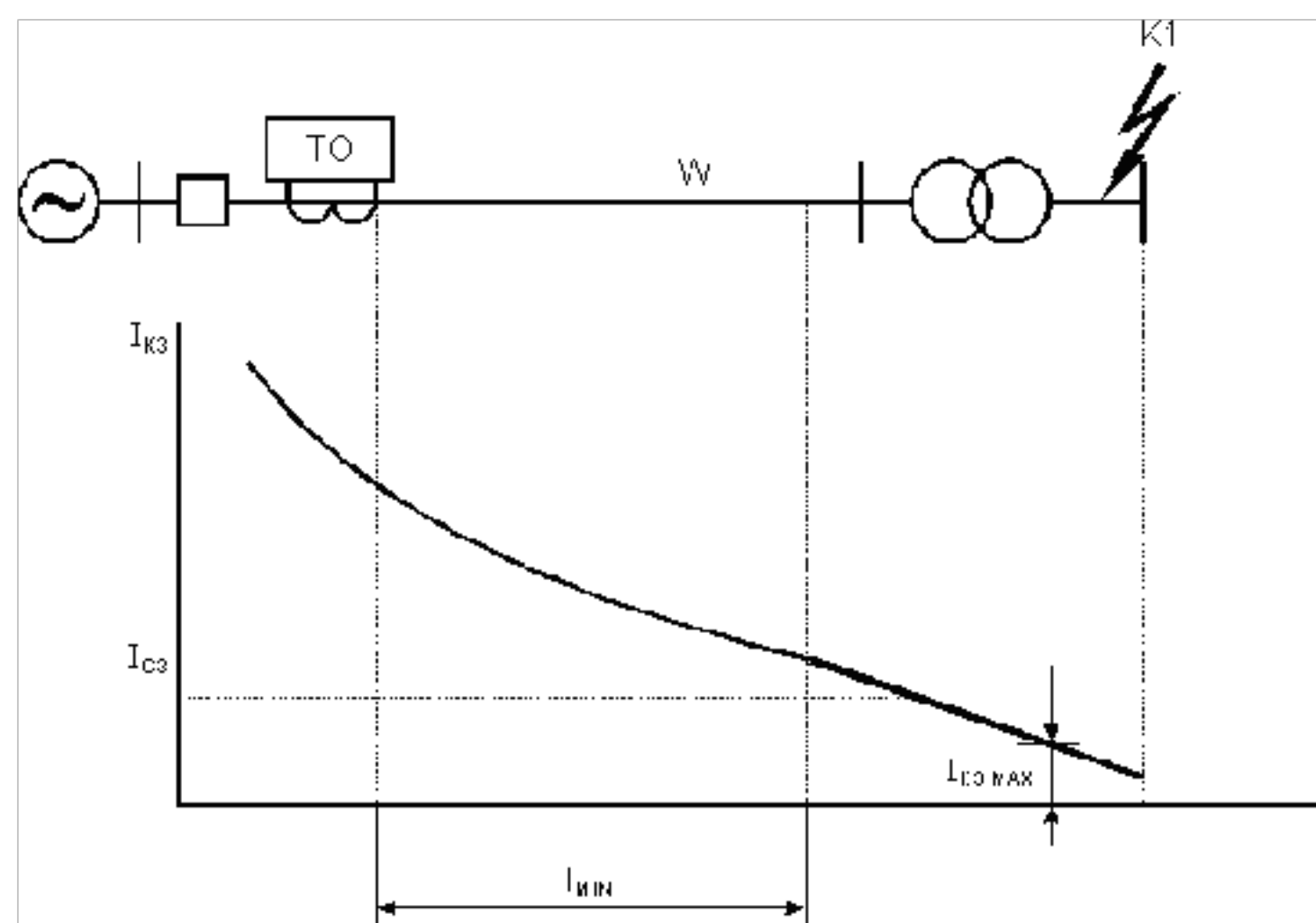
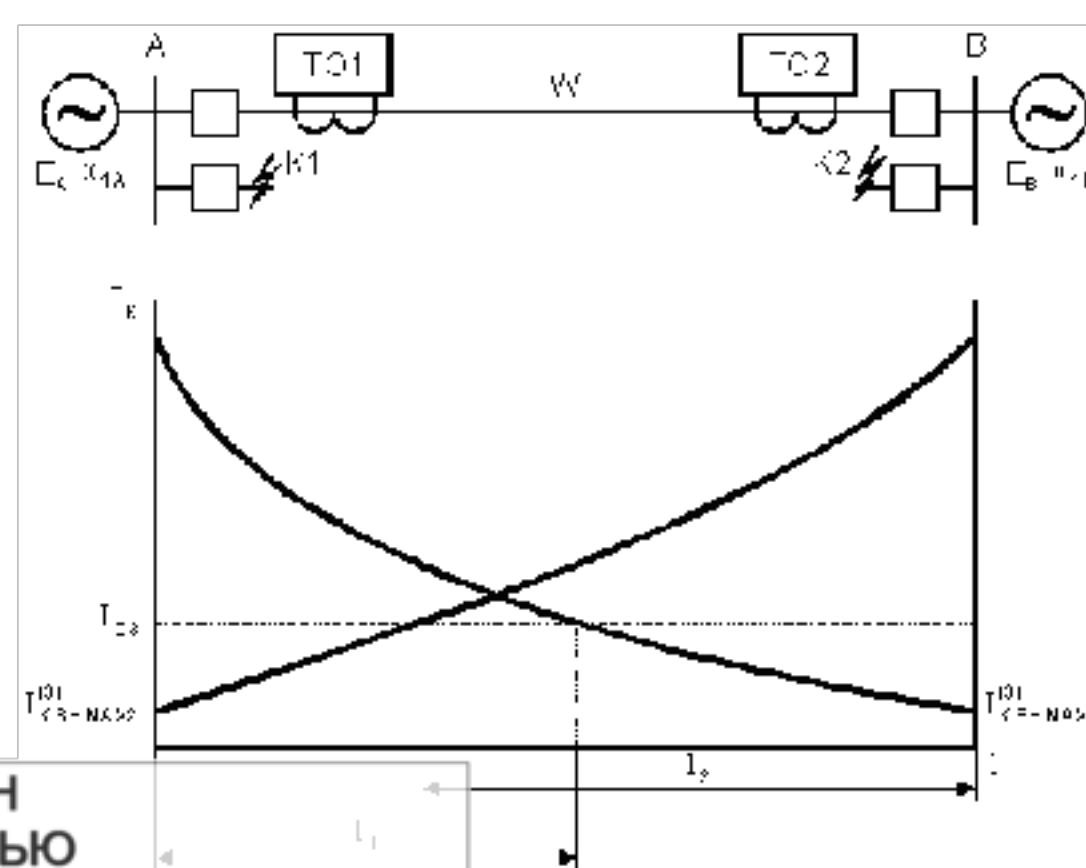


Рисунок 9 – Применение токовой отсечки для защиты блока линия-трансформатор

Токовые отсечки могут использоваться на линиях с двухсторонним питанием. В этом случае отсечки устанавливаются с обеих сторон защищаемой линии (защиты ТО1 и ТО2 рис. 25). Кривые 1 и 2 показывают изменение максимальных токов КЗ от источников А и Б соответственно при перемещении точки КЗ вдоль защищаемой линии. Токи срабатывания отсечек должны быть выбраны таким образом, чтобы при внешних КЗ (точки К1 и К2) защиты не действовали.



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

Рисунок 25 – Применение токовой отсечки в сети с двухсторонним питанием

Время действия токовой отсечки $t_{c.з} = 0,04 \div 0,06$ с.

Отстройка от большего из двух значений токов $I_{кз(к1)max}^{(3)}$ и $I_{кз(к2)max}^{(3)}$ является первым условием выбора параметров срабатывания защиты:

$$I_{c.з1} = I_{c.з2} = k_{отс} \cdot I_{кз.вн.max}^{(3)},$$

где $k_{отс} = 1,2 \div 1,3$; $I_{кз.вн.max}^{(3)}$ - больший из двух токов $I_{кз(к1)max}^{(3)}$ и $I_{кз(к2)max}^{(3)}$.

В эксплуатации возможны случаи качаний генераторов источника А относительно генераторов источника Б и выхода их из синхронизма. При этом по линии W могут протекать большие уравнительные токи. Отсечки в этом случае не должны действовать:

$$I_{cз1} = I_{cз2} = k_{отс1} \cdot I_{ур.max},$$

где $I_{ур.max}$ - максимальный уравнительный ток, при смещении векторов эквивалентных ЭДС E_A и E_B на угол α .

Принимая $E_A = E_B = E$, ток $I_{ур.max}$ можно определить по выражению:

$$I_{ур.max} = 2 \cdot E \cdot (x_{1A} + x_{уд} \cdot \ell + x_{1B}),$$

где x_{1A} и x_{1B} - сопротивления прямых последовательностей систем А и Б; $x_{уд}$ - удельное сопротивление линии W.

Ток срабатывания выбирается большим из значений, полученных по двум условиям.

Для защиты всей линии с минимальным временем действия, применяется токовая отсечка с выдержкой времени.

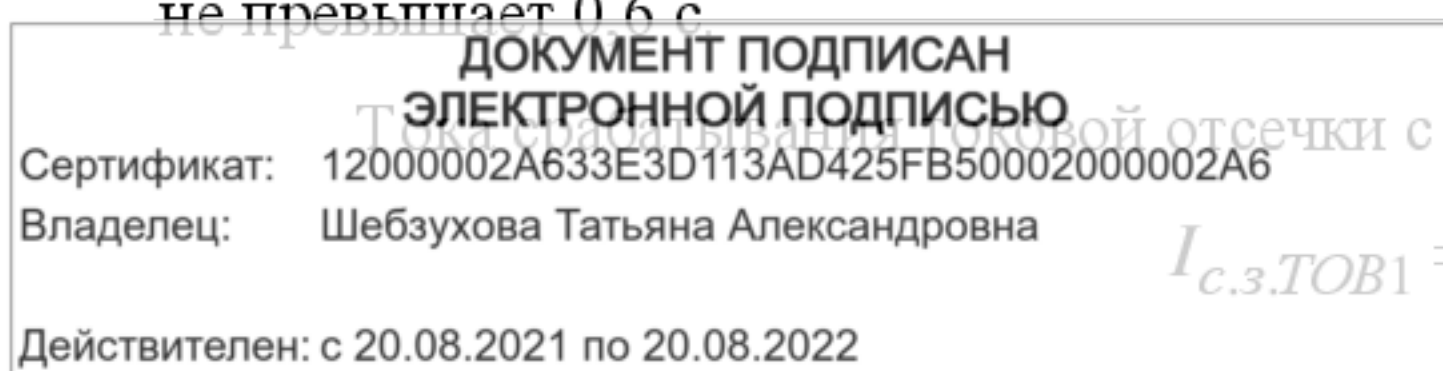
Зона действия токовой отсечки с выдержкой времени TOB1 согласуется с зоной и временем мгновенной отсечки TO2 (рис.26) исходя из требования обеспечения селективности. Для выполнения этого время действия отсечки TOB1 (t_{TOB1}) выбирается на ступень Δt больше времени срабатывания отсечки TO2 (t_{TO2}):

$$t_{TOB1} = t_{TO2} + \Delta t.$$

Ступень селективности $\Delta t = 0,3 \div 0,6$ с, поэтому выдержка времени отсечки TOB1 не превышает 0,6 с.

Время срабатывания токовой отсечки с выдержкой времени выбирается по условию:

$$I_{c.з.TO B1} = k_{отс2} \cdot I_{c.з.TO2},$$



где $k_{отс2} = 1,05 \div 1,1$; $I_{с.з.ТО2}$ – ток срабатывания токовой отсечки ТО2 (рис. 26).

При таком выборе тока срабатывания защиты ТОВ1 в зону ее действия входит участок линии W1 – $(\ell_{TOB1} - \ell_{TO1})$. Кроме того, она обеспечивает дальнейшее резервирование в случае отказа отсечки ТО2 при КЗ в начале линии W2 и ближнее резервирование в случае отказа защиты ТО1 на участке ℓ_{TO1} .

Защищаемая зона токовой отсечки с выдержкой времени определяется графически (рис.11).

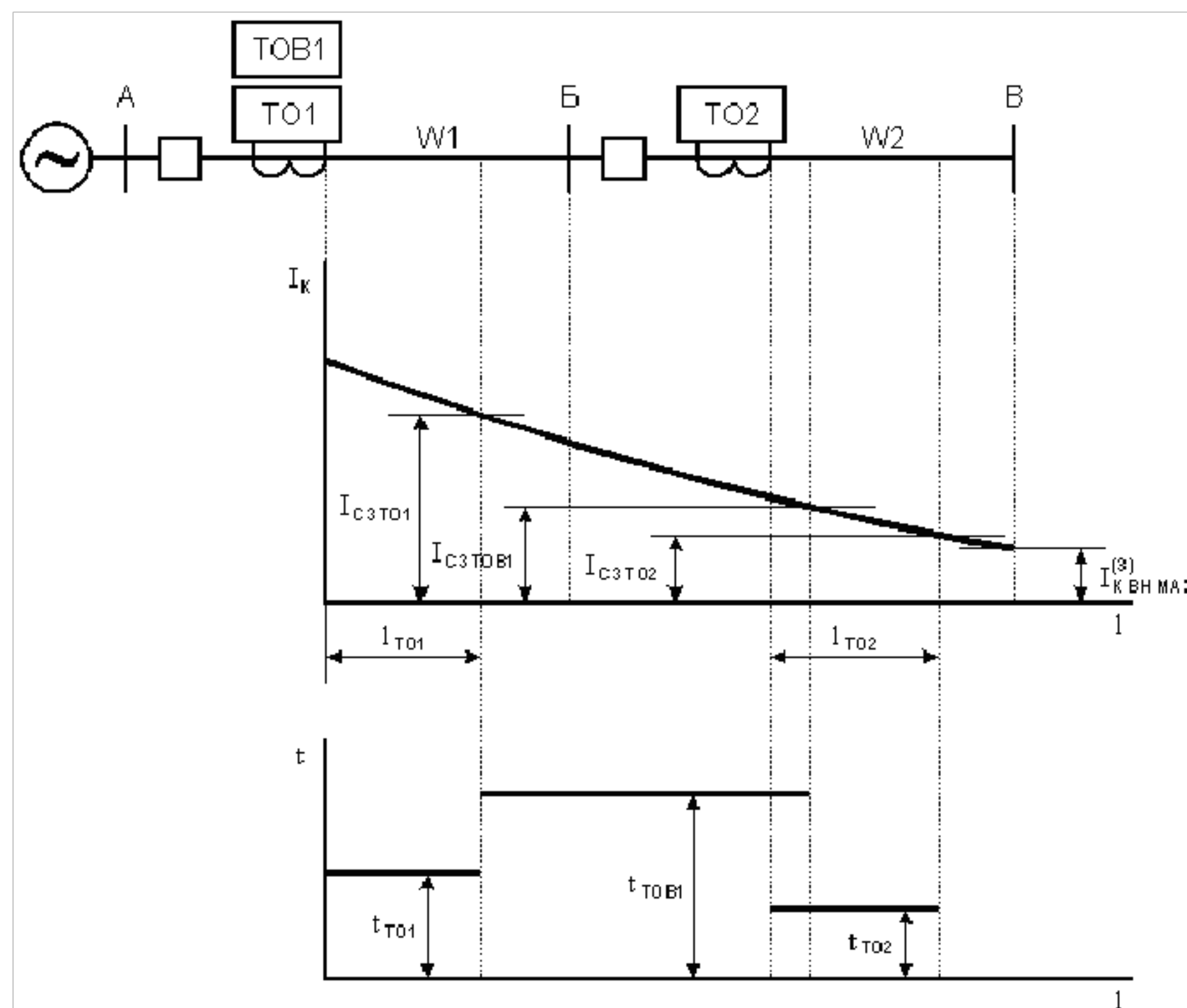


Рисунок 11 – К определению тока срабатывания токовой отсечки с выдержкой времени

Минимальная длина зоны ℓ_{TOB} должна быть не менее 40% длины линии.

Достоинствами токовых отсечек являются: простота, экономичность и быстродействие.

Недостатками токовых отсечек являются: неполный охват зоной действия защищаемой линии и непостоянство зоны действия под влиянием сопротивления в месте повреждения.

Токовые отсечки без выдержки и с выдержкой времени и максимальная токовая за-

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

щита образует трехступенчатую токовую защиту. Вместе с тем каждая из них может использоваться и как отдельная защита.

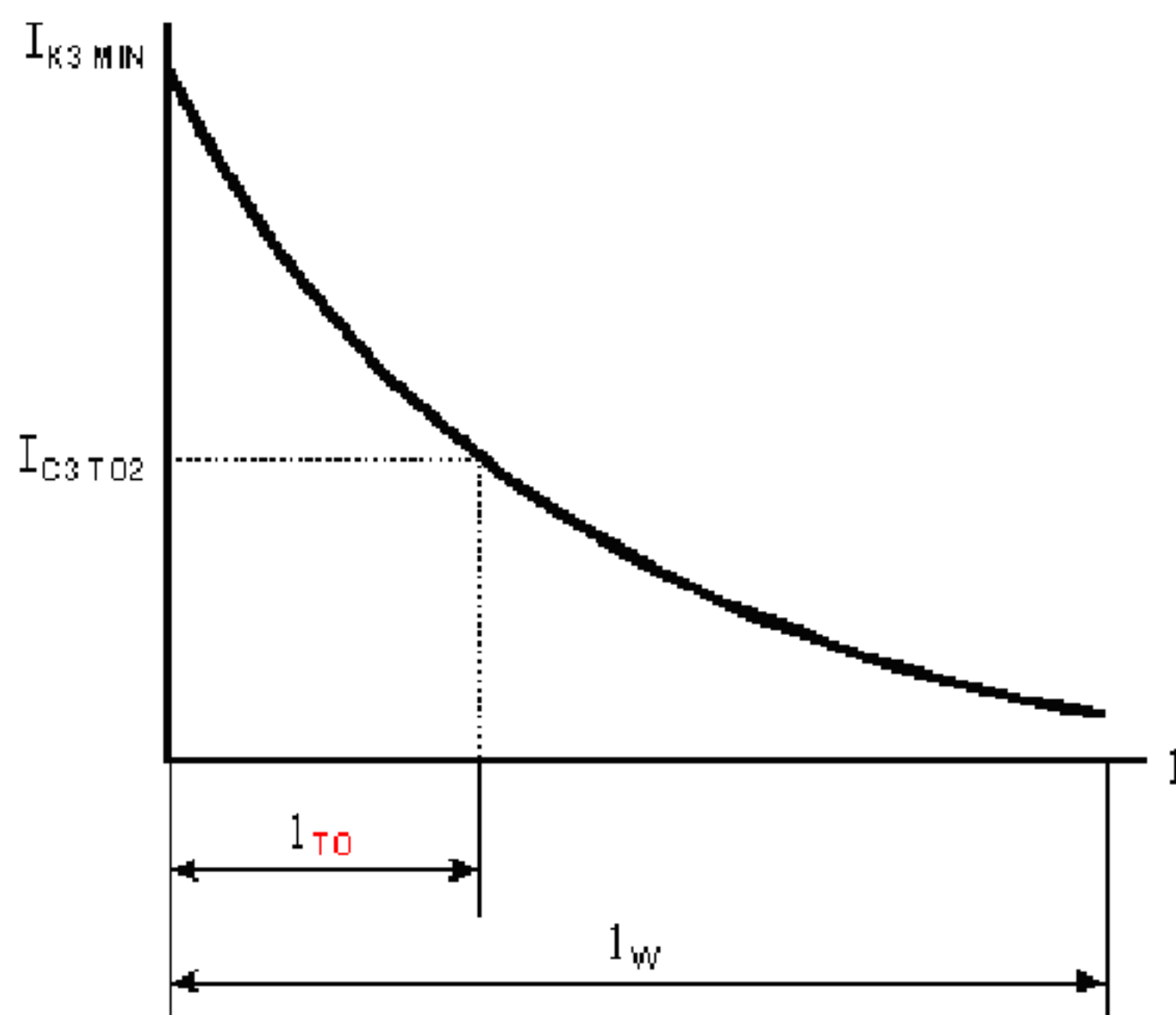


Рисунок 12 – Определение защищаемой зоны токовой отсечки с выдержкой времени

Задания:

Задание №1

Для выбора тока срабатывания реле $I_{c.p}$ токовых защит и проверки их чувствительности необходимо знать коэффициент схемы, под которым понимают отношение тока в реле I_p ко вторичному фазному току $I_{2\phi}$ трансформатора тока, т.е. $k_{cx}^{(m)} = I_p / I_{2\phi}$. Можно коэффициент схемы выразить и через первичный ток $I_{1\phi}$ и коэффициент трансформации K_I трансформатора тока $k_{cx}^{(m)} = K_I I_p / I_{1\phi}$.

Он зависит от режима работы защищаемого элемента и от схемы соединения трансформаторов тока в реле. Необходимо определить $k_{cx}^{(m)}$ защиты А для нормального режима и различных КЗ в точках $K_1^{(m)}$ и $K_2^{(m)}$ (рис.13.).

В защите использовать:

- трехфазную схему соединения в полную звезду;
- двухфазную двухрелейную и трехрелейную схему соединения в неполную звезду;
- трехфазную схему соединения ТА в полный треугольник, а реле в полную звезду;
- двухфазную однорелейную схему соединения ТА в неполный треугольник

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
(на разное использование)
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

В схеме блока (рис. 1.12) трансформатор Т может иметь следующие схемы и группы соединения обмоток У/Д-11; Д/Ун-11; У/У-0.

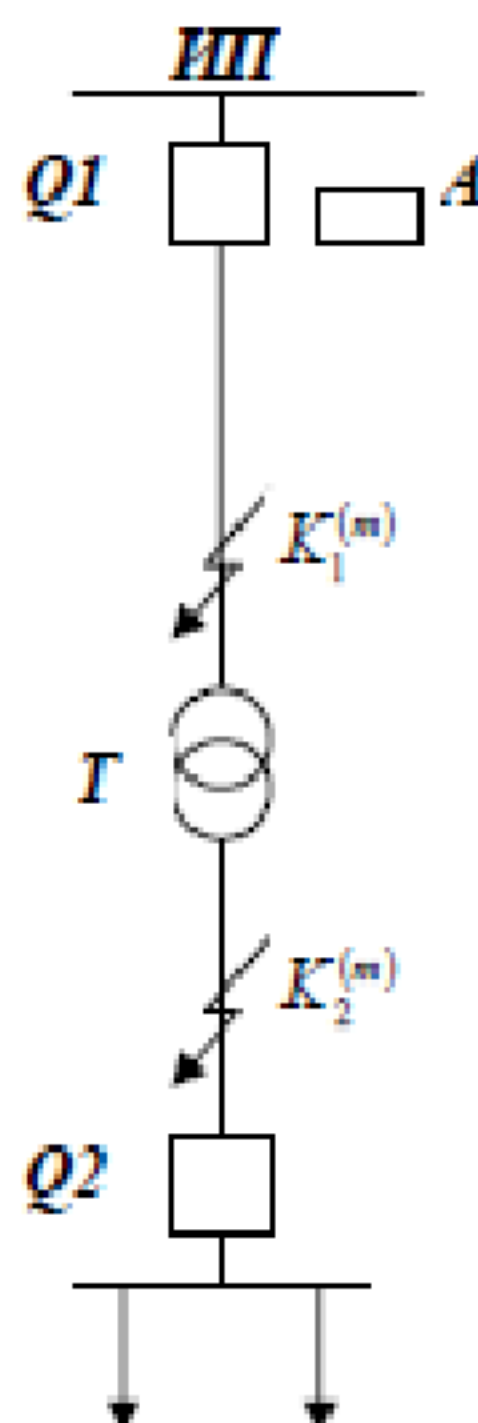


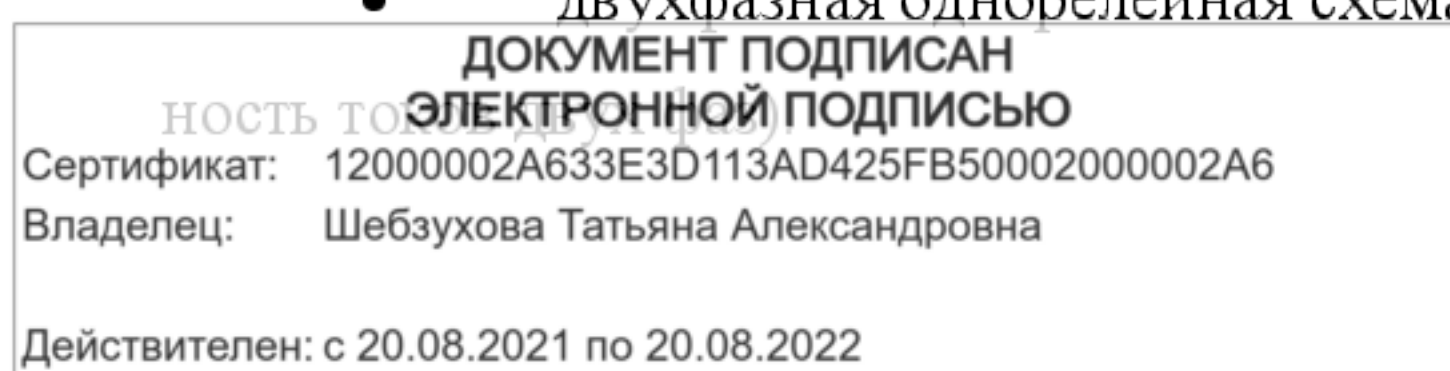
Рисунок 13 – Схема блока линия – трансформатор

Задание №2

Полная погрешность трансформаторов тока ε в схемах релейной защиты не должна превышать 10 %. Это обеспечивается, если расчетная нагрузка трансформатора $Z_{н.рсч}$ не превышает допустимой $Z_{н.доп}$, которая определяется из характеристики предельной кратности тока трансформатора $k_{10} = f(Z_{н.доп})$ при 10-процентной погрешности.

Для выбора трансформатора тока требуется также знание его расчетной нагрузки $Z_{н.рсч}$. Она складывается из сопротивления токовой обмотки реле Z_p , сопротивления проводов $R_{пр}$ и переходного сопротивления контактов. $R_{конт}=0,1$ Ом. В зависимости от вида и места КЗ в общем случае $Z_{н.рсч}$ будет различным. Оно зависит от схемы соединения трансформаторов тока и обмоток реле. Необходимо получить расчетные формулы максимального $Z_{н.рсч}$ для следующих схем:

- трехфазная схема соединения в полную звезду;
- двухфазная двухрелейная схема соединения в неполную звезду;
- двухфазная трехрелейная схема соединения в неполную звезду;
- трехфазная схема соединения ТА в полный треугольник, а реле в полную звезду;
- двухфазная однорелейная схема соединения в неполный треугольник (на раз-



Задание №3

На линиях электрической сети 35 кВ (рис.14) установлены максимальные токовые защиты с независимой характеристикой выдержки времени. Время срабатывания защит в секундах. $t_I \dots t_{XII}$ отходящих линий $I \dots XII$ указано в табл. 1. Необходимо выбрать выдержки времени $t_1 \dots t_5$ защит $A1 \dots A5$. Принять степень селективности $\Delta t = 0,5$ с

	t_I	t_{II}	t_{III}	t_{IV}	t_V	t_{VI}	t_{VII}	t_{VIII}	t_{IX}	t_X	t_{XI}	t_{XII}
а	1	1	0,5	2,5	0,	1	0	0	1	1,5	0,5	1
б	1,5	2	2	1,5	1	2,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5
в	4	1	3	1,5	2	1	1	1,5	1,5	2	1	1

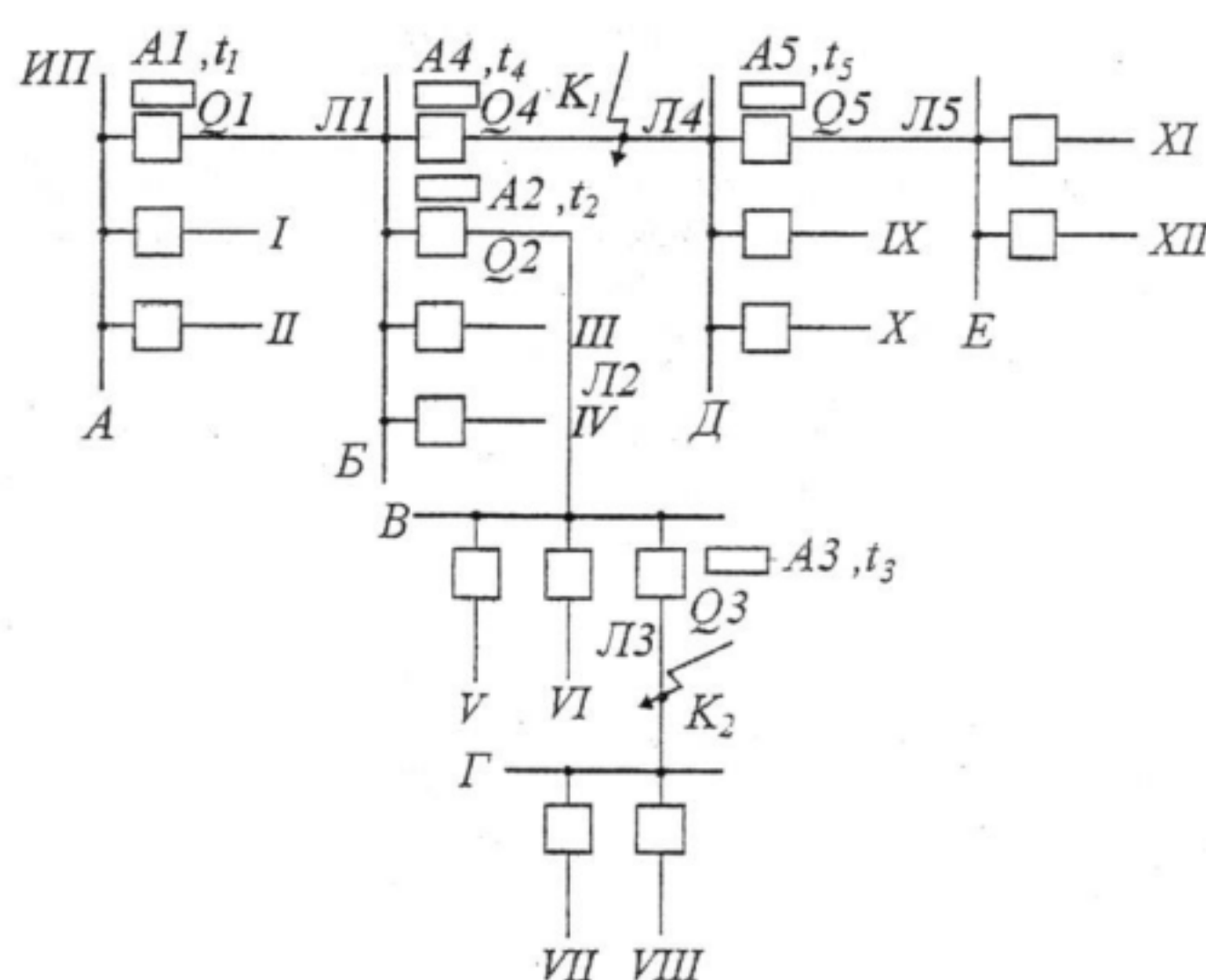
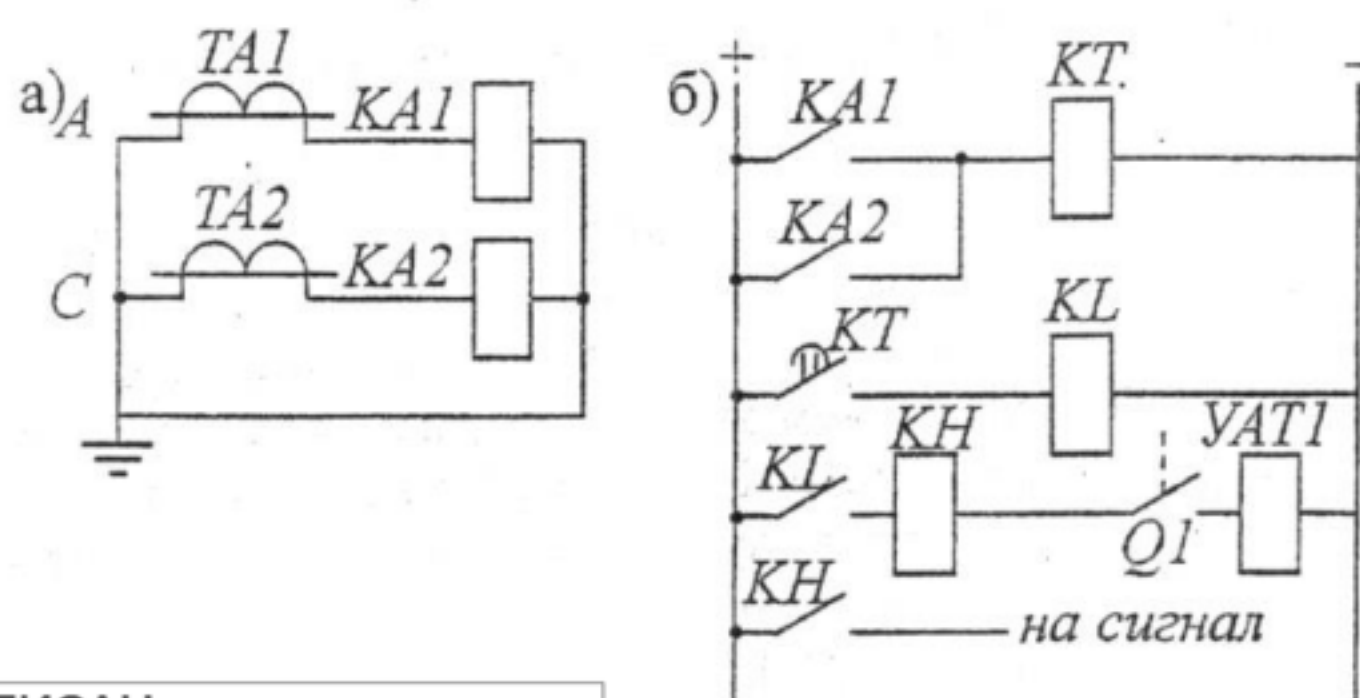


Рисунок 14 – Электрическая сеть напряжением 35 кВ

Задание №4

В системе электроснабжения (см. рис.14) максимальная токовая защита $A1$ выполнена по схеме неполной звезды с независимой характеристикой выдержки времени на постоянном оперативном токе (рис. 15).



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

Рисунок 15 – Цепи максимальной токовой защиты

Задание №5

Объяснить действие этой защиты при коротком замыкании:

1. Фаз АС на защищаемой линии.
2. Фаз АВ в точке K_1 .

При этом необходимо указать:

- а) пути циркуляции тока в цепях тока и в оперативных цепях защиты;
- б) последовательность срабатывания и возврата отдельных реле и аппаратов от момента возникновения повреждения до момента его ликвидации;
- в) к чему может привести отказ вспомогательного контакта выключателя Q_1 (при отключении выключателя контакт не разомкнулся).

В соответствии со стандартом схема релейной защиты изображена при невозбужденных реле и отключенном выключателе.

Задание №6

На линиях $Л_1$, $Л_2$, $Л_3$ установлены максимальные токовые защиты A_1 , A_2 , A_3 соответственно (рис.). Защиты выполнены по схеме неполной звезды. Токи срабатывания защит и значения токов двухфазного КЗ в точках K_1 , K_2 , K_3 даны в таблице.

Токи срабатывания защит, А			Токи двухфазного КЗ при повреждениях в точках, А		
A_1	A_2	A_3	K_1	K_2	K_3
800	500	300	1500	1000	600

Необходимо определить коэффициенты чувствительности защит

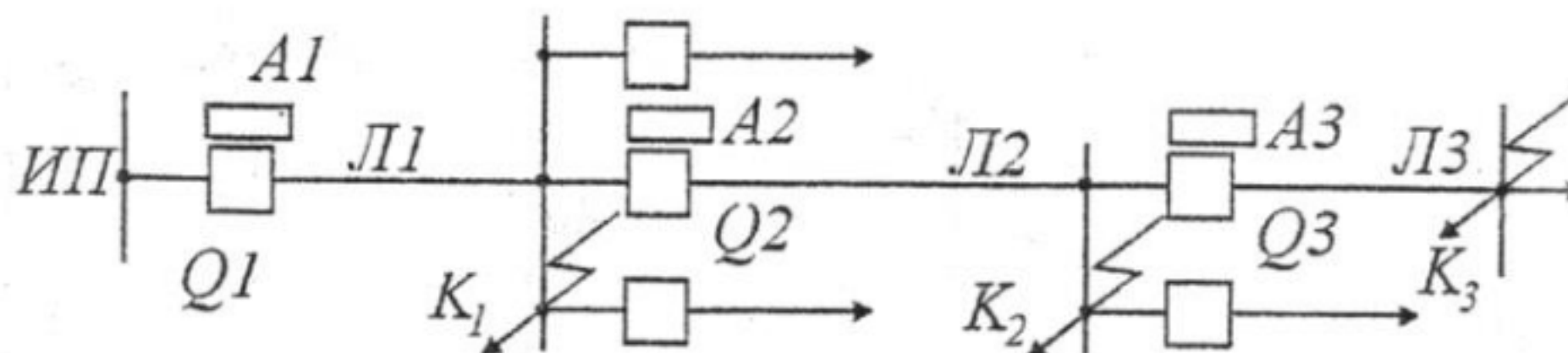


Рисунок 16 – Схема электрической сети,

Задание №7

Для защиты линии в сети напряжением 10 кВ предусмотрены максимальная токовая

защита и ток срабатывания

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

В защите использованы реле РТ-40 и рабочий ток в линии $I_{раб\max}=80\text{А}$. Ток срабатывания максимальной токовой защиты $I_{с.з}^{III}=191\text{ А}$, ток срабатывания токовой отсечки $I_{с.з}^I=$

545 А. Реле и трансформаторы тока соединены по схеме неполной звезды. Расстояние между трансформаторами тока и щитом релейной защиты равно $l=200$ м. Для присоединения реле к трансформаторам тока могут быть использованы либо медные, либо алюминиевые провода. Необходимо выбрать трансформаторы тока и сечение этих проводов так, чтобы полная погрешность трансформаторов тока ε не превышала 10%.

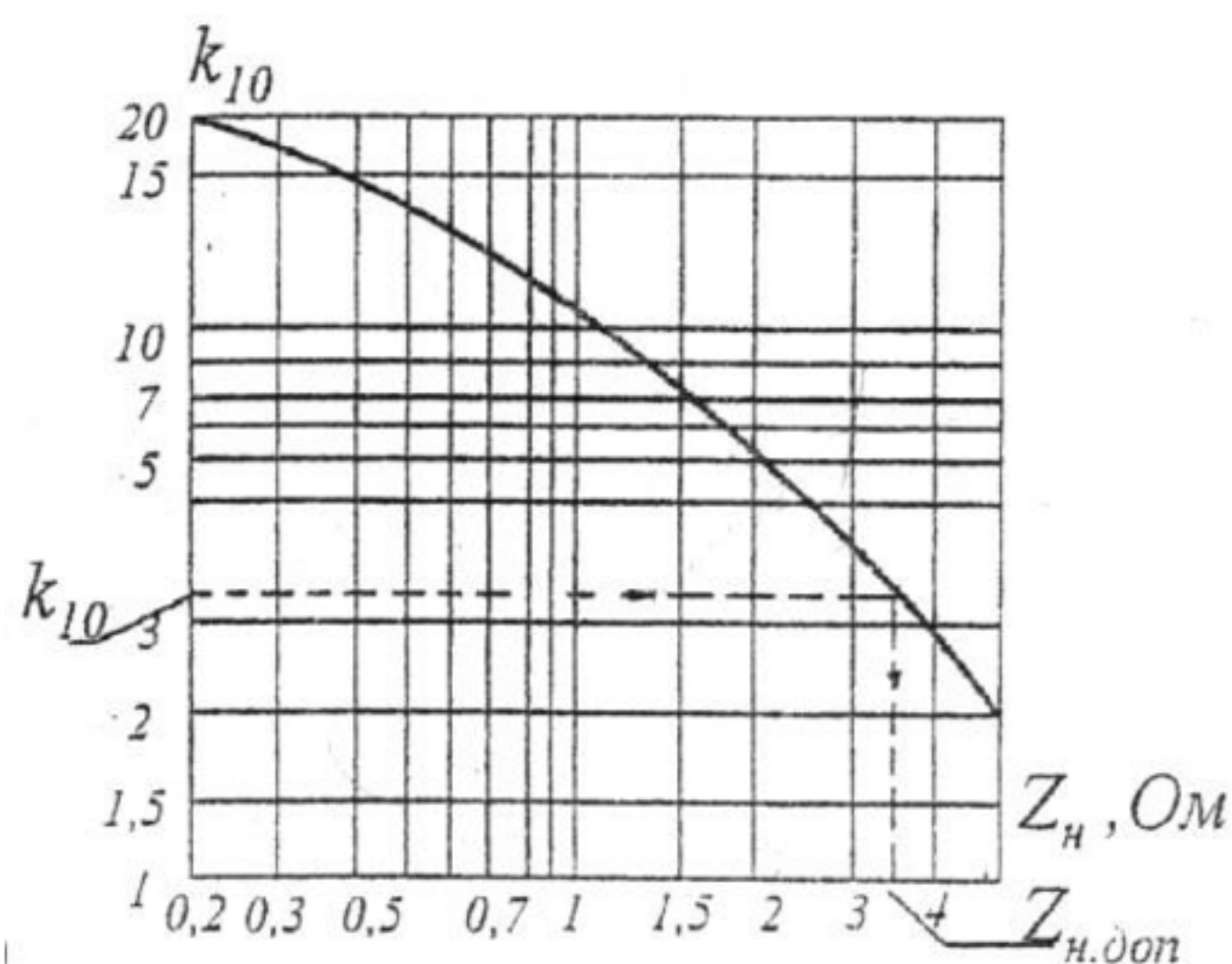


Рисунок 17– Кривая предельной кратности трансформатора тока ТЛМ для $K_I = 50/5 \dots 300/5$, класса Р

Практическая работа №4. Дифференциальная защита генераторов/двигателей

Цель: Рассмотреть основные типы защит синхронных генераторов и асинхронных электродвигателей.

Основы теории:

Продольная дифференциальная защита – для защиты от междуфазных повреждений внутри генератора.

Поперечная дифференциальная защита – для защиты от межвитковых КЗ при наличии выведенных параллельных ветвей обмоток и их соединении в звезду.

Защита нулевой последовательности – для защиты от однофазных замыканий на землю.

Токовая отсечка и максимальная токовая защита – для защиты от внешних КЗ (и от внутренних у генераторов малой мощности).

Токовая защита с четырехплечным мостом – для защиты от замыканий в двух точках обмотки возбуждения.

Защита от максимального напряжения – применяется на гидрогенераторах.

Защита от перегрузки – применяется на генераторах всех мощностей.

Токовая защита обратной последовательности.

Для защиты генератора от междуфазных повреждений применяется продольная дифференциальная защита. Принцип ее действия основан на сравнении токов с обеих сторон защищаемого объекта. Для этого защита подключается к трансформаторам тока, установленным со стороны главных и нулевых выводов генератора. Вторичные обмотки трансформаторов тока одноименных фаз и реле соединяют между собой таким образом, чтобы при КЗ вне защищаемой зоны, ограниченной измерительными трансформаторами, ток в реле отсутствовал или был близок к нулю, а при повреждении внутри генератора был больше уставки срабатывания реле.

В нормальном режиме работы и при внешнем КЗ ток, протекающий по обмоткам реле I_P , равен току небаланса $I_{нб}$

$$I_P = I_1 - I_2 = I_{нб} \approx 0,$$

где I_1 и I_2 - токи в плечах защиты.

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

$$I_P = I_1 + I_2.$$

Продольная дифференциальная защита действует на отключение всех выключателей генератора, гашение поля и останов турбины.

Поскольку генераторы работают в сетях с незаземленной или резонансно-заземленной нейтралью, то при мощности генератора PJ30 МВт дифференциальная защита выполняется по двухфазной схеме. Недостатком этой схемы является то, что она не реагирует на двойные замыкания (когда одно произошло в сети, а другое в генераторе, на фазе где нет трансформатора тока). Поэтому необходима дополнительная установка защиты от двойных замыканий на землю.

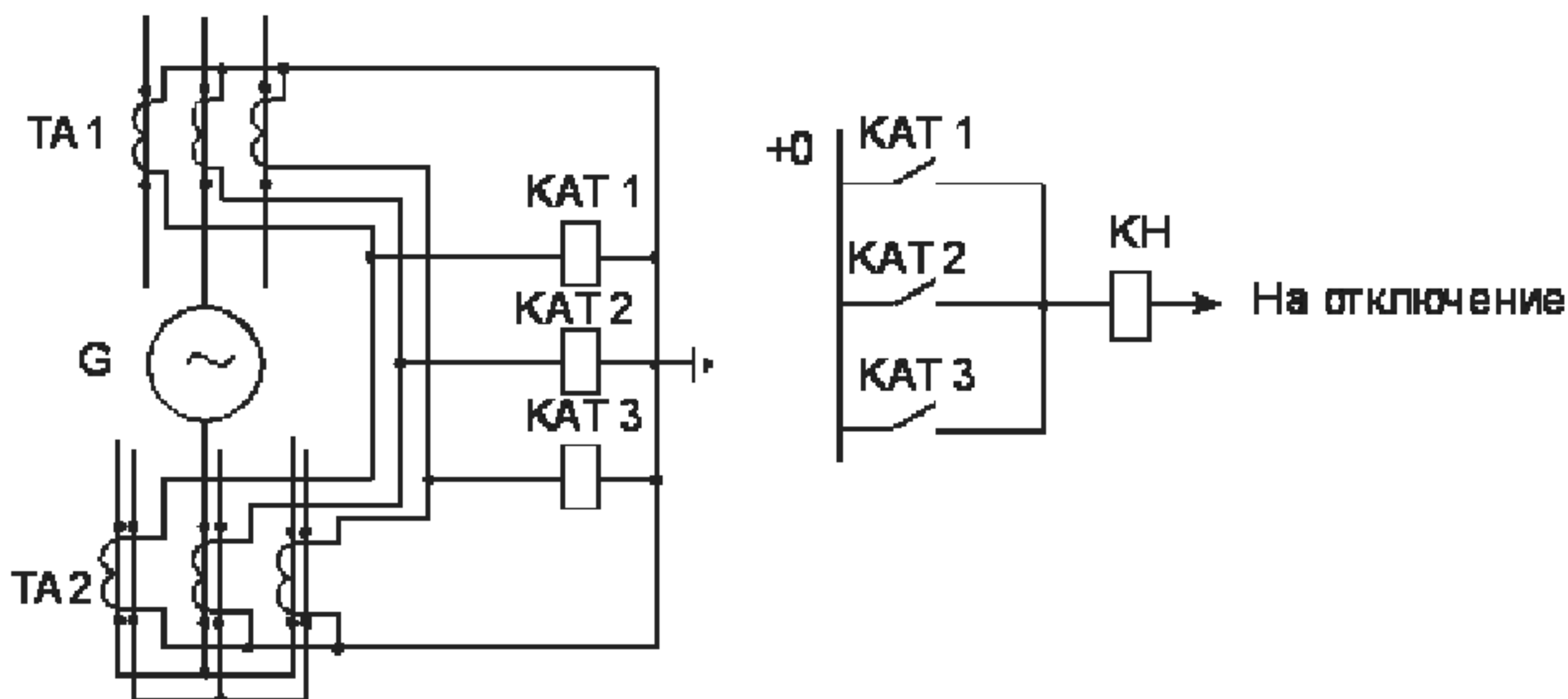


Рисунок 18 – Схема продольной дифференциальной защиты генератора

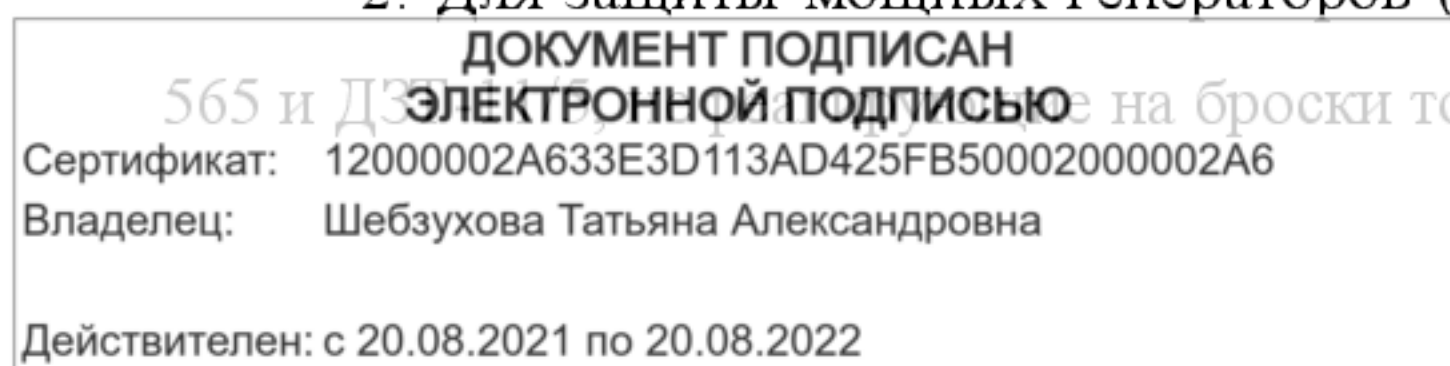
На мощных генераторах защиту выполняют в трехфазном варианте, чтобы обеспечить срабатывание и при двойных замыканиях на землю, когда одно из мест пробоя находится вне защищаемой зоны.

Токи небаланса в дифференциальной защите генераторов могут достигать значительной величины. Причины их появления – не идентичность кривых намагничивания, неодинаковая вторичная нагрузка и погрешность трансформаторов тока.

Для исключения ложного срабатывания защиты в режиме внешнего КЗ от токов небаланса применяются два способа:

1. Уменьшают величину и длительность броска тока небаланса неустановившегося режима с помощью сопротивления, включенного последовательно с обмоткой токовых реле. Способ используется на генераторах малой мощности.

2. Для защиты мощных генераторов (более 25 МВт) применяются реле типа РНТ-



Ток срабатывания для дифференциальной защиты генератора выбирается из условия отстройки от токов небаланса при внешнем КЗ:

$$I_{сз} = k_n \cdot I_{нб\,расч},$$

где k_n - коэффициент надежности, $k_n = 1,3$;

$$I_{нб\,расч} = k_{ан} \cdot k_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{кз\,max}$$

где $k_{ан}$ – учитывает наличие апериодической составляющей в токе КЗ, для реле типа РНТ и ДЗТ $k_{ан} = 1$; $k_{одн}$ - коэффициент однотипности трансформаторов тока, при однотипных трансформаторах тока принимается $k_{одн} = 0,5$; ε – величина допустимой погрешности трансформаторов тока; $I_{кз\,max}$ – ток трехфазного КЗ на выводах генератора.

Если ток максимальный ток асинхронного хода $I_{ур\,max}$ больше тока трехфазного КЗ на выводах генератора, то при расчете тока небаланса необходимо подставлять его величину.

Чувствительность защиты проверяется при двухфазном КЗ на выводах генератора:

$$k_{ч} = \frac{I_{кз\,min}}{I_{сз}} \geq 2$$

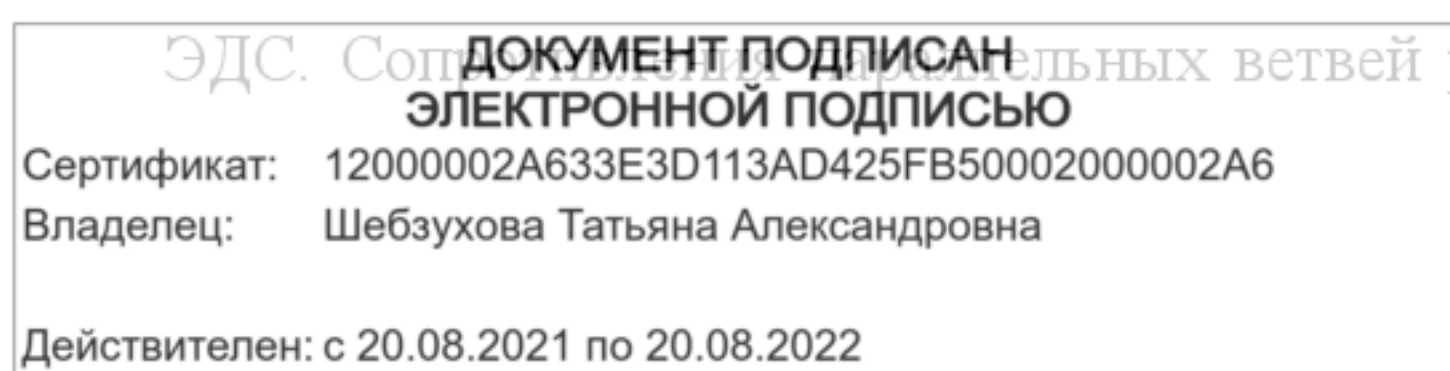
Устанавливается на генераторах, имеющих несколько параллельных ветвей, выведенных наружу и соединенных в звезду. Используется для защиты от межвитковых КЗ одной фазы обмотки статора. Действует без выдержки времени на отключение всех выключателей генератора, гашение поля и останов турбины.

Возможно трехсистемное и односистемное исполнение защиты. В односистемной схеме (рис.73) производится сравнение суммы токов трех фаз одной группы ветвей с суммой токов трех фаз другой параллельной группы ветвей. Реле тока KAZ (применяется реле серии РТ-40/Ф с фильтром высших гармоник ZF) подключается к трансформатору тока ТА, установленному в нулевом проводе, соединяющем нейтрали. В трехсистемной схеме производится сравнение токов параллельных ветвей каждой фазы.

В настоящее время используются только односистемные схемы, так как они отличаются простотой, экономичностью, надежностью и большей чувствительностью.

В нормальном режиме в параллельных ветвях каждой фазы наводятся одинаковые

ЭДС. Сопоставляя ЭДС параллельных ветвей равны. Поэтому равны и токи параллельных



ветвей I_1^c и I_2^c . Сумма токов параллельных ветвей трех фаз (ток в реле I_p) равна току небаланса $I_{нб}$:

$$I_p = I_{1\Sigma} + I_{2\Sigma} = I_{нб},$$

где $I_{1\Sigma}$ и $I_{2\Sigma}$ - суммы токов в первых и вторых параллельных ветвей.

Ток небаланса определяется наличием токов высших гармоник, кратных трем, и токов нулевой последовательности, вызванных несимметрией ЭДС фаз. Для отстройки от токов небаланса высших гармоник реле включают через фильтр ZF, что дает возможность уменьшить ток срабатывания защиты примерно в 10 раз.

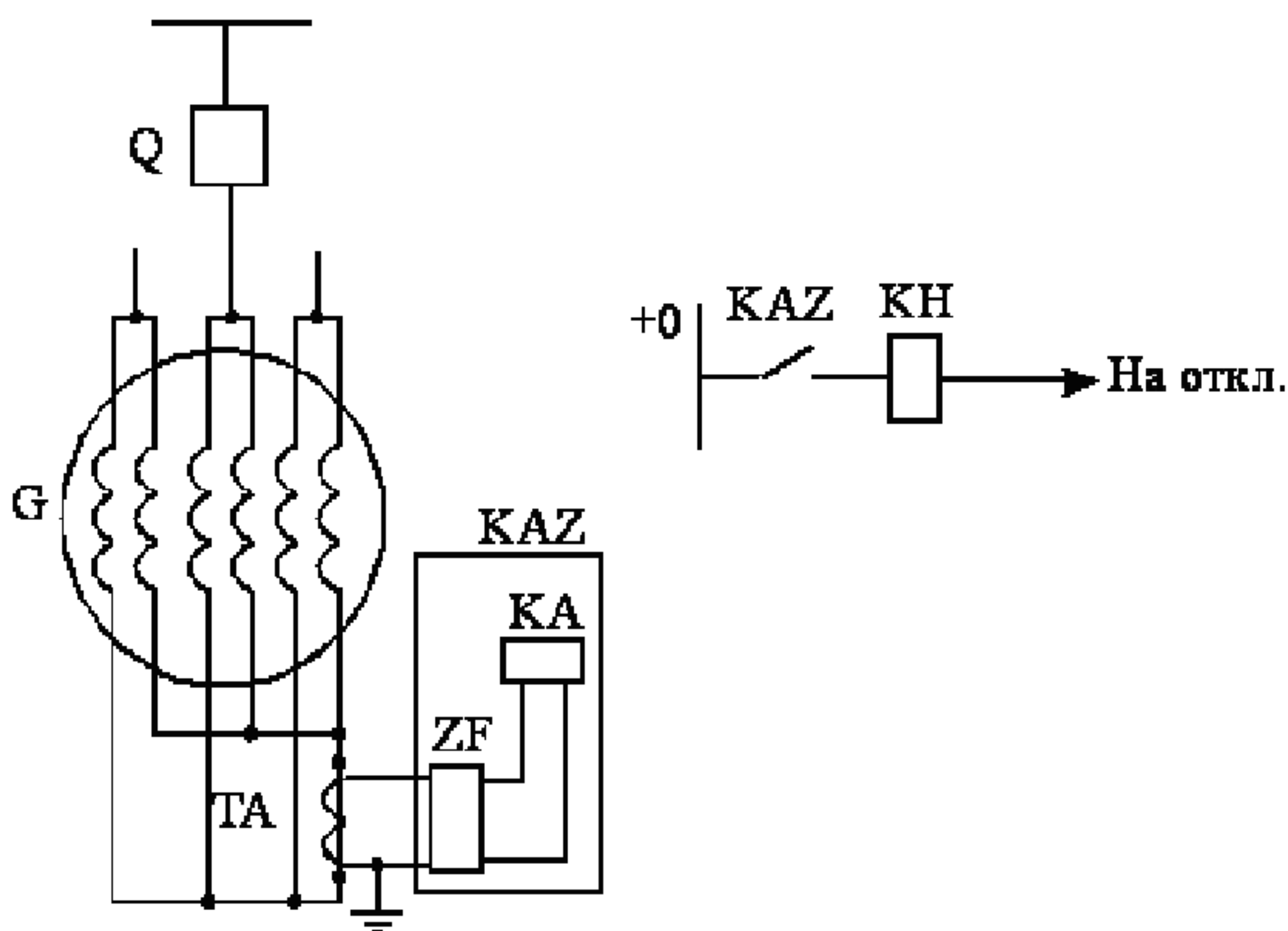


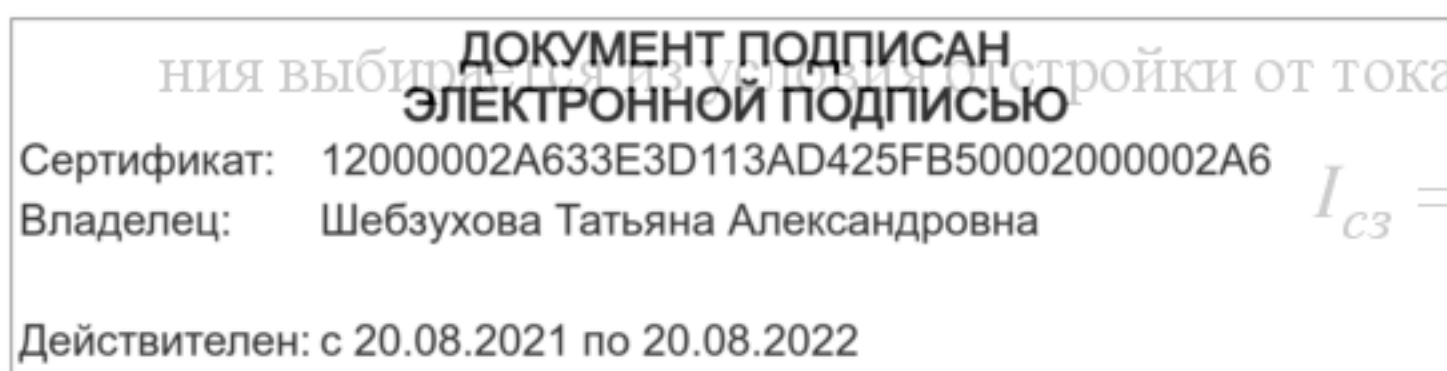
Рисунок 19 – Схема исполнения односистемной поперечной дифференциальной защиты

В случае замыкания между витками одной фазы сопротивления параллельных ветвей становятся различными и равенство токов нарушается. В перемычке между нейтралями параллельных обмоток статора протекает ток, вызывающий срабатывание защиты.

По своему принципу работы защита не требует выдержки времени. Ток срабаты-

ния выбрана с учетом отстройки от тока небаланса:

$$I_{сз} = k_n \cdot I_{нб \max}.$$



На практике ток срабатывания выбирается:

$$I_{сз} = (0,2 \div 0,3)I_{ном.г}$$

где $I_{ном.г}$ - номинальный ток генератора.

При наладке ток срабатывания уточняется по результатам измерений, и величина его может быть существенно снижена.

Поперечной дифференциальной защиты отличается простотой, экономичностью, быстротой действия и высокой чувствительностью.

Недостатками поперечной дифференциальной защиты являются: возможность ложного срабатывания и наличие мертвой зоны, при малом количестве замкнутых витков, когда ток протекающий в перемычке между нейтралями невелик.

Поперечная дифференциальная защита в некоторых случаях может сработать и при многофазном КЗ, резервируя продольную дифференциальную защиту.

1) Замыкания на землю. Защита от замыкания на землю устанавливается на них при токе замыкания более 10 А ($P < 2000$ Вт), при мощности более 2000 Вт и при токе замыкания на землю более 5 А. Защита действует на отключение.

2) Междофазные КЗ. В качестве защиты используют токовую отсечку или продольную дифференциальную защиту, действующую на отключение.

Защита от витковых замыканий на электродвигателях не устанавливается. Ликвидация повреждения этого вида осуществляется другими защитами электродвигателей, поскольку витковые замыкания в большинстве случаев сопровождаются замыканием на землю или переходят в междофазные.

Электродвигатели напряжением до 500 В защищаются от КЗ всех видов (в том числе и от однофазных) с помощью плавких предохранителей или быстродействующих автоматических выключателей.

Ненормальные режимы работы:

- 1) перегрузка током больше номинального;
- 2) неполнофазный режим;
- 3) самозапуск .

При мощности до 500 кВт используется токовая отсечка. Наиболее просто выполняется токовая отсечка с помощью реле прямого действия, встроенного в привод выключателя.

Ток срабатывания отсечки выбирается

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$I_{сз} = k_n \cdot k_{сх} \cdot I_{пуск} ,$$

Токовую отсечку двигателей до 2000 кВт следует выполнять, как правило, по более простой и дешевой однорелейной схеме (рис.84а). Недостатком этой схемы является более низкая чувствительность, по сравнению с отсечкой на двух реле (рис.84б), к двухфазным КЗ (фазы А и С) в $\sqrt{3}$ раз.

Поэтому на электродвигателях мощностью 2000...5000 кВт токовая отсечка для повышения чувствительности выполняется двухрелейной. Двухрелейную схему токовой отсечки следует применять на электродвигателях мощностью до 2000 кВт, если коэффициент чувствительности однорелейной схемы при двухфазном КЗ на выводах электродвигателя менее 2.

На электродвигателях мощностью 5000 кВт и более устанавливается продольная дифференциальная защита. Эта защита выполняется в двухфазном или трехфазном исполнении с реле типа РНТ-567. Ток срабатывания реле принимается $2 \cdot I_{ном}$.

При двухфазном исполнении дополнительно устанавливается защита от двойных замыканий.

Ток срабатывания выбирается

$$I_{сз} = k_{отс} \cdot I_{нб.расч},$$

$$I_{нб.расч} = k_{одн} \cdot k_{сх} \cdot \Sigma I_{пуск}.$$

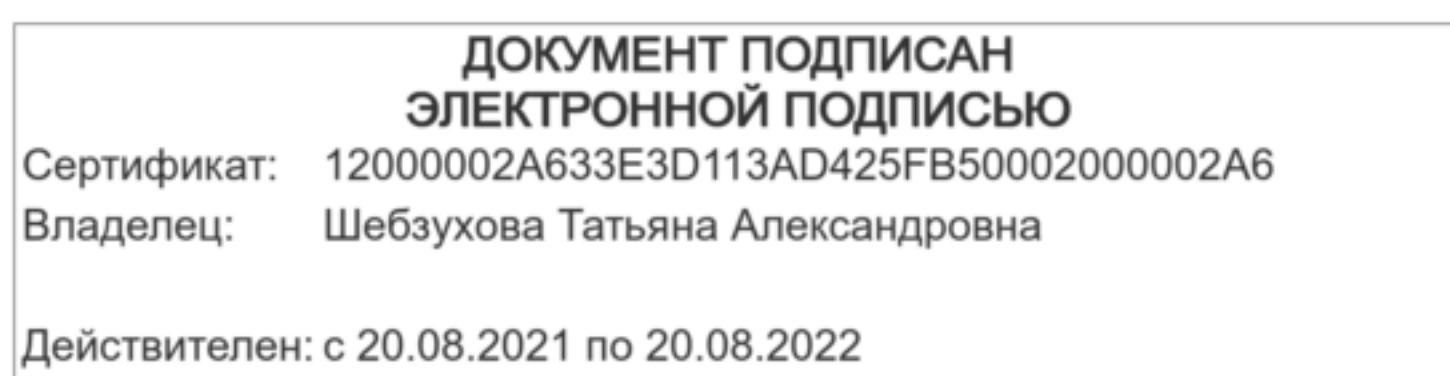
Выполняется с помощью одного токового реле РТЗ-51, которое подключается к трансформатору тока нулевой последовательности (рис.85).

Ток срабатывания

$$I_{сз} \geq k_n \cdot k_b \cdot I_c,$$

где I_c – емкостной ток двигателя; $k_n=1,2...1,3$; k_b – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока электродвигателя при внешних перемежающихся замыканиях на землю. Для защиты, действующей без выдержки времени $k_b=3...4$.

Ток срабатывания не должен превышать 10 А для электродвигателей до 2000 кВт, и 5 А для электродвигателей до 5000 кВт и более. Если расчетная величина тока срабатывания получается большей, то необходимо время срабатывания принять $t = 1...2$ с и $k_b=1,5...2$.



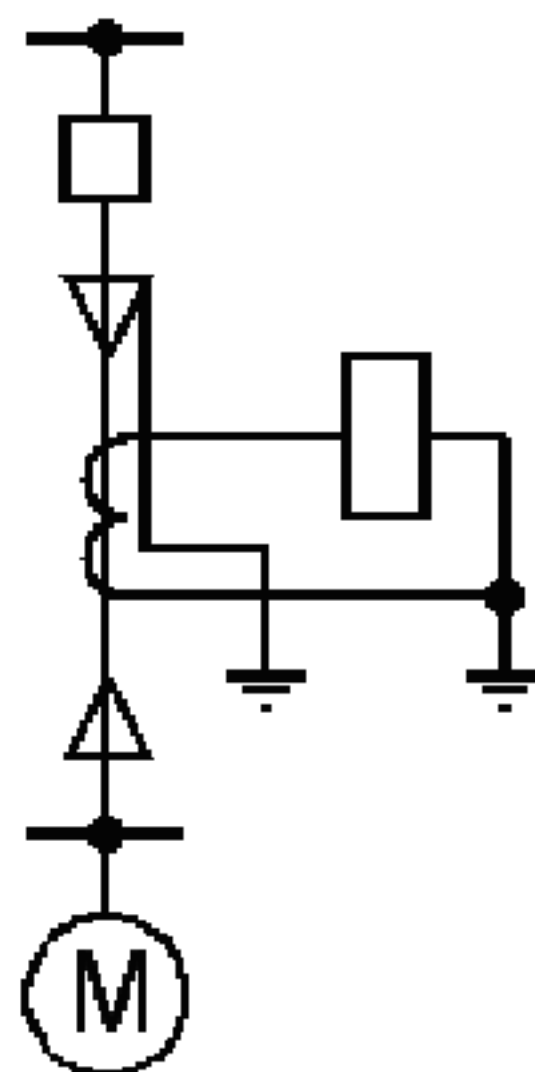


Рисунок 20 – Схема подключения реле защиты

Если питание электродвигателя подается по двум параллельным кабелям, то трансформаторы тока, надетые на каждый кабель, соединяются последовательно и подключаются к одному общему реле. На электродвигателях большой мощности, для питания которых используется больше двух кабелей, защиту от замыканий на землю выполняют одним общим трансформатором тока нулевой последовательности типа ТНП аналогично защите генераторов.

Для защиты от двойных замыканий на землю на электродвигателях, оснащенных продольной дифференциальной защитой в двухфазном исполнении к вторичной обмотке трансформатора тока нулевой последовательности подключается второе токовое реле, имеющее уставку срабатывания 100-200 А (первичный ток), как и в защите генераторов.

Ток срабатывания при двойных замыканиях на землю

$$I_{сз} = k_{отс} \cdot I_{нб.расч},$$

$$I_{нб.расч} = k_{одн} \cdot k_{ап} \cdot \Sigma I_{пуск}.$$

Предусматривается на электродвигателях, подверженным перегрузкам по технологическим причинам (вентиляторы, дымососы, мельницы, дробилки и т. д.), а также на электродвигателях с особо тяжелыми условиями пуска и самозапуска длительностью более 20 с. Перегрузка – симметричный режим, поэтому защита от нее может быть выполнена одним реле, включенным в любую фазу электродвигателя. Выдержка времени защиты отстраивается от длительности пуска электродвигателя в нормальном режиме и самозапуска после

действия. Действие защиты осуществляется индукционными элементами реле РТ-80, которые используются для выполнения токовой отсечки (токовая отсечка осуществляется двухступенчатой защитой).

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

Действует защита на отключение допускается на электродвигателях с тяжелыми условиями пуска или самозапуска, а также в тех случаях, когда отсутствует возможность своевременной разгрузки без остановки электродвигателей или если нет постоянного дежурного персонала.

Ток срабатывания защиты

$$I_{сз} = \frac{k_n}{k_e} \cdot I_{ном},$$

где $k_n = 1,1 \dots 1,2$.

Время срабатывания составляет $t_{сз} = (10 \dots 15) \text{ с}$.

Задания:

Задание №1

Блок генератор-трансформатор, без генераторного выключателя

Генератор 100 МВА, 6 кВ

- Сверхпереходное реактивное сопротивление КЗ: $X_d'' = 10\%$,

- Активное сопротивление (определение постоянной времени затухания апериодической сост.) $R_G = 0.13 \%$ ($T_G = 318 \text{ мс}$)

Силовой трансформатор блока 6/230 кВ, 120 МВА

- Напряжение КЗ: $u_{Х-Т} = 15\%$

- Омическое напряжение КЗ: $u_{R-Т} = 0,3 \%$ ($T_T = 159 \text{ мс}$)

Вторичная нагрузка ТТ (защита + контрольный кабель): $R_B < 1 \text{ ВА}$

Определить номинальную предельную кратность ТТ, при которой обеспечивается устойчивость функционирования защиты генератора при возникновении внешних КЗ.

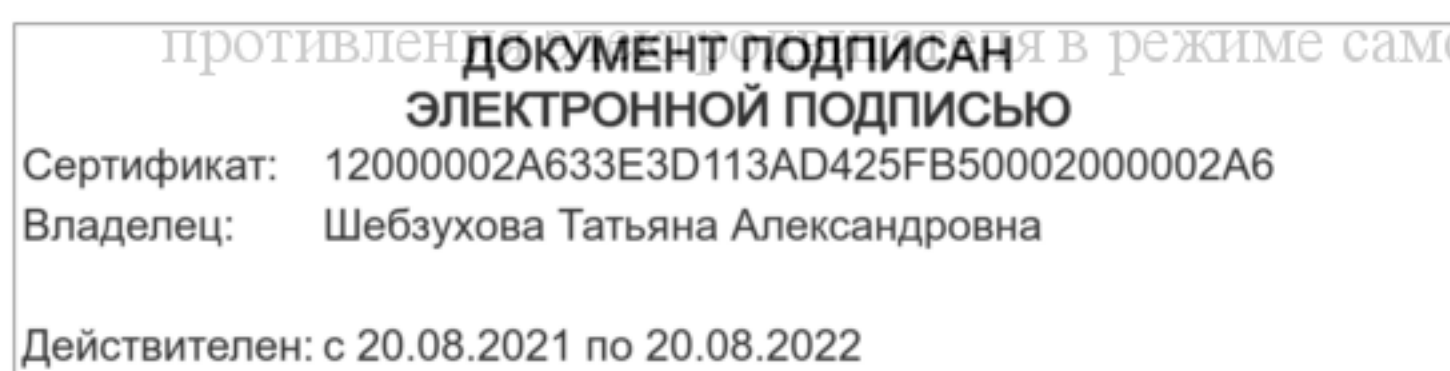
Предполагается, что близкие КЗ в системе ликвидируются в течение 150 мс.

Задание №2

Группа асинхронных электродвигателей напряжением 6 кВ питается от системы бесконечной мощности через трансформатор.

Проверить наличие условия самозапуска электродвигателей после отключения токовой отсечкой наиболее мощного электродвигателя и есть ли необходимость в минимальной защите напряжения. Самозапуск обеспечивается при $U_{ост} = 0,6 U_{ном}$. При определении со-

противления в режиме самозапуска принять скольжение $s = 1$.



Задание №3

На асинхронном электродвигателе напряжением $U=6 \text{ кВ}$, подключенном к шинам системы бесконечной мощности, имеется защита от перегрузки, которая выполнена одним реле, включенным на разность токов двух фаз А и С. При определении тока срабатывания защиты принимались коэффициент отстройки $k_{отс}^{III} = 1,1$, коэффициент возврата $k=0,8$

Выяснить, будет ли срабатывать эта защита при разрыве фазы электродвигателя, в которую:

- а) включен трансформатор тока;
- б) не включен трансформатор тока.

Скольжение после разрыва продолжает оставаться номинальным. Сопротивления электродвигателя в относительных единицах, отнесенные к его номинальным параметрам:

- прямой последовательности $X_{*1} = 1,2$;
- обратной последовательности $X_{*2} = 0,2$.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Практическая работа №5. Релейная защита трансформаторов

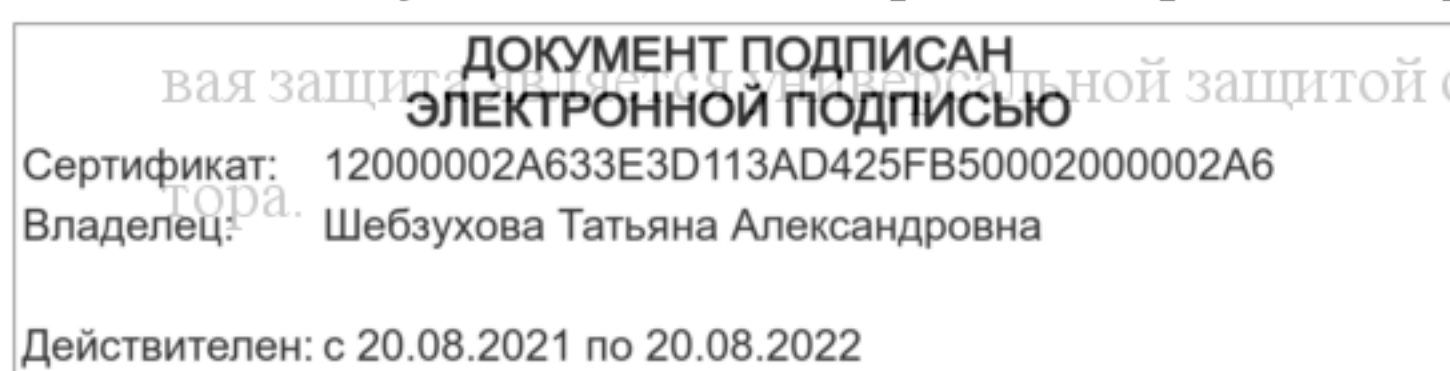
Цель: Изучить основные типы повреждений и способы предотвращения аварий на силовых трансформаторах.

Основы теории:

Для групп однофазных трансформаторов они вообще исключены. Защита от коротких замыканий выполняется с действием на отключение поврежденного трансформатора. Для ограничения размеров разрушений ее выполняют быстродействующей.

Замыкание одной фазы на землю опасно для обмоток, присоединенных к сетям с глухозаземленными нейтралью. В этом случае защита должна отключать трансформатор и при однофазных коротких замыканиях в его обмотках на землю. В сетях с нейтралью, изолированными или заземленными через дугогасящие реакторы, защита от однофазных замыканий на землю с действием на отключение устанавливается на трансформаторе в том случае, если такая защита имеется в сети. При витковых замыканиях в замкнувшихся витках возникает значительный ток, разрушающий изоляцию и магнитопровод трансформатора, потому такие повреждения должны отключаться быстродействующей защитой. Но использовать для этого токовые, дифференциальные или дистанционные защиты не представляется возможным. При малом числе замкнувшихся витков ток в поврежденной фазе со стороны питания может оказаться даже меньше значения номинального тока, а напряжение на выводах трансформатора практически не изменится.

Опасным внутренним повреждением является также «пожар стали» магнитопровода, который возникает при нарушении изоляции между листами магнитопровода, что ведет к увеличению потерь на перемагничивание и вихревые токи. Потери вызывают местный нагрев стали, ведущий к дальнейшему разрушению изоляции. Защиты, основанные на использовании электрических величин, на этот вид повреждения тоже не реагируют, поэтому возникает необходимость в применении специальной защиты от витковых замыканий и от «пожара стали». Для маслонаполненных трансформаторов такой защитой является газовая, основанная на использовании явления газообразования. Образование газа является следствием разложения масла и других изолирующих материалов под действием электрической дуги при витковых замыканиях или недопустимого нагрева при «пожаре стали». Электрическая дуга возникает и при многофазных коротких замыканиях в обмотках. Поэтому газо-



Ненормальные режимы работы трансформаторов обусловлены внешними короткими замыканиями и перегрузками. В этих случаях в обмотках трансформатора появляются большие токи (сверхтоки). Особенно опасны токи, проходящие при внешних коротких замыканиях; эти токи могут значительно превышать номинальный ток трансформатора. В случае длительного прохождения тока (что может быть при коротких замыканиях на шинах или при не отключившемся повреждении на отходящем от шин присоединении) возможны интенсивный нагрев изоляции обмоток и ее повреждение. Вместе с этим при коротком замыкании понижается напряжение в сети. Поэтому на трансформаторе должна предусматриваться защита, отключающая его при появлении сверхтоков, обусловленных не отключившимся внешним коротким замыканием.

Перегрузка трансформаторов не влияет на работу системы электроснабжения в целом, так как она обычно не сопровождается падением напряжения. Кроме того, сверхтоки перегрузки относительно невелики и их прохождение допустимо в течение некоторого времени, достаточного для того, чтобы персонал принял меры к разгрузке. Так, согласно нормам, перегрузку током $I_{\text{пер}} = 1,6 I_{\text{н.ном}}$ можно допускать в течение $t = 45$ мин. В связи с этим защита трансформатора от перегрузки при наличии дежурного персонала должна выполняться с действием на сигнал. На подстанциях без дежурного персонала защита от перегрузки должна действовать на разгрузку или отключение.

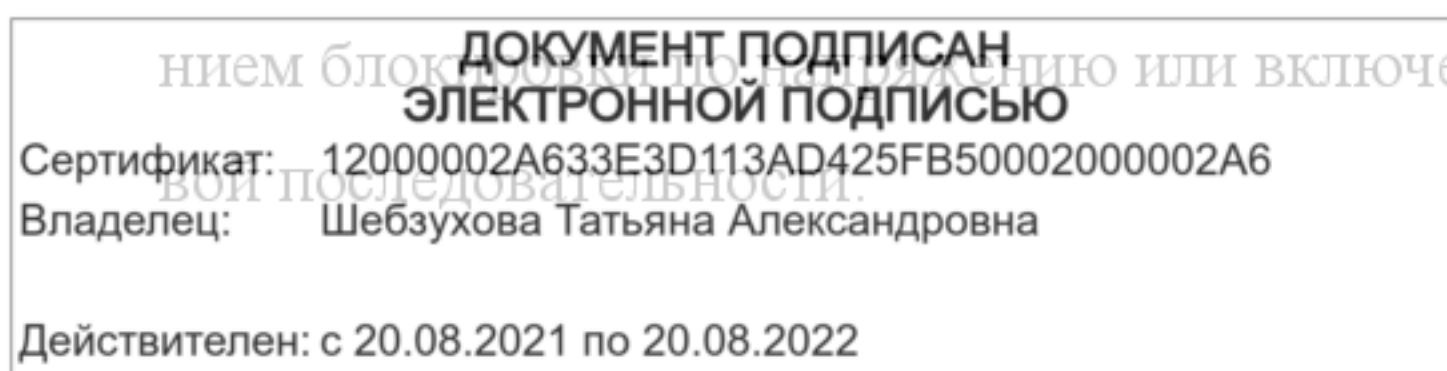
К ненормальным режимам работы трансформаторов относите также недопустимое понижение уровня масла, которое может произойти, например, вследствие повреждения бака.

Служит для отключения трансформатора от источника питания в случае КЗ на выводах или внутри трансформатора, а также на сборных шинах или линиях со стороны потребителя.

В качестве основной максимальная токовая защита применяется лишь на трансформаторах малой мощности, так как по условиям селективности она имеет недопустимо большую выдержку времени. На трансформаторах, имеющих отдельную защиту от повреждений в самом трансформаторе и на его выводах максимальная токовая защита применяется в качестве дополнительной.

На понижающих трансформаторах применяется простая максимальная токовая защита. На повышающих она имеет недостаточную чувствительность к повреждениям на высшей стороне. Чувствительность максимальной токовой защиты повышают приме-

нением блокировки отключения или включением токового реле через фильтр токов нуле-



Защита трансформаторов и автотрансформаторов от сверхтоков является резервной, предназначенной для отключения их от источника питания как при повреждениях самих трансформаторов (автотрансформаторов) и отказе основных защит, так и при повреждении смежного оборудования и отказах его защиты или выключателей. При отсутствии специальной защиты шин защита трансформаторов от сверхтоков осуществляет также защиту этих шин.

В качестве защиты от сверхтоков при междуфазных КЗ используется максимальная токовая защита, максимальная токовая защита с пуском по напряжению, максимальная направленная защита, максимальная токовая защита обратной последовательности. Защита устанавливается со стороны источника питания, а при наличии нескольких источников – со стороны главного источника.

Для защиты от сверхтоков при однофазном КЗ используется максимальная токовая защита и максимальная направленная защита нулевой последовательности. Защита устанавливается со стороны обмоток, соединенных по схеме звезды с заземленной нулевой точкой.

На рис.53 изображена схема максимальной токовой защиты двухобмоточного понижающего трансформатора.

Защита устанавливается только со стороны источника питания. Действует на отключение одного выключателя в случае одностороннего питания, и двух выключателей при двухстороннем питании. Наиболее широкое распространение получила схема включения пусковых органов в неполную звезду.

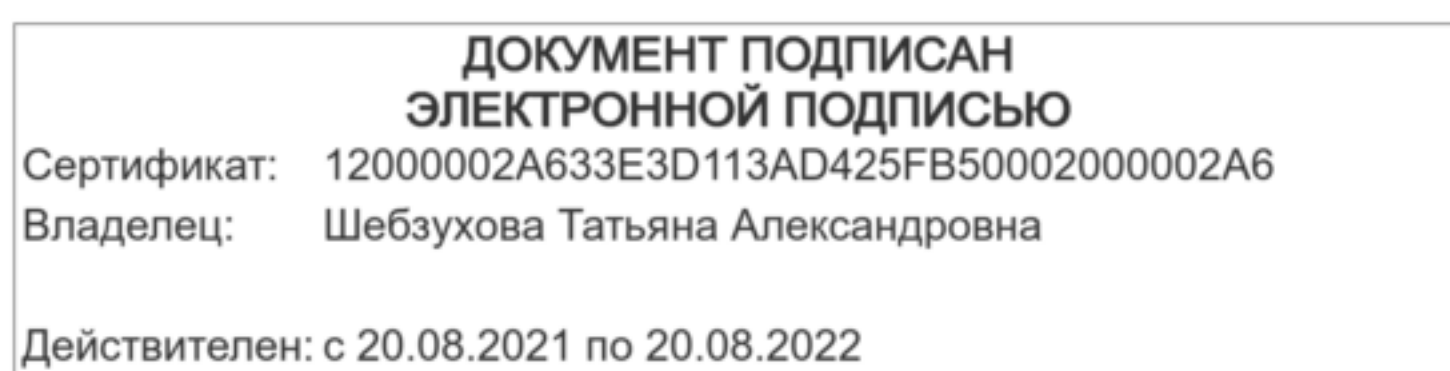
Ток срабатывания защиты выбирается по двум условиям:

1. Максимальная токовая защита не должна работать при перегрузках трансформатора.
2. Максимальная токовая защита не должна работать при самозапуске.

С учетом этих условий:

$$I_{с.з} = k_{отс} \cdot k_z \cdot I_{раб.маx} / k_e ,$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешности расчета и работы реле, принимаемый равным $k_{отс}=1,1 \div 1,2$; k_z - коэффициентом запуска; $I_{раб.маx}$ - максимальный рабочий ток нагрузки.



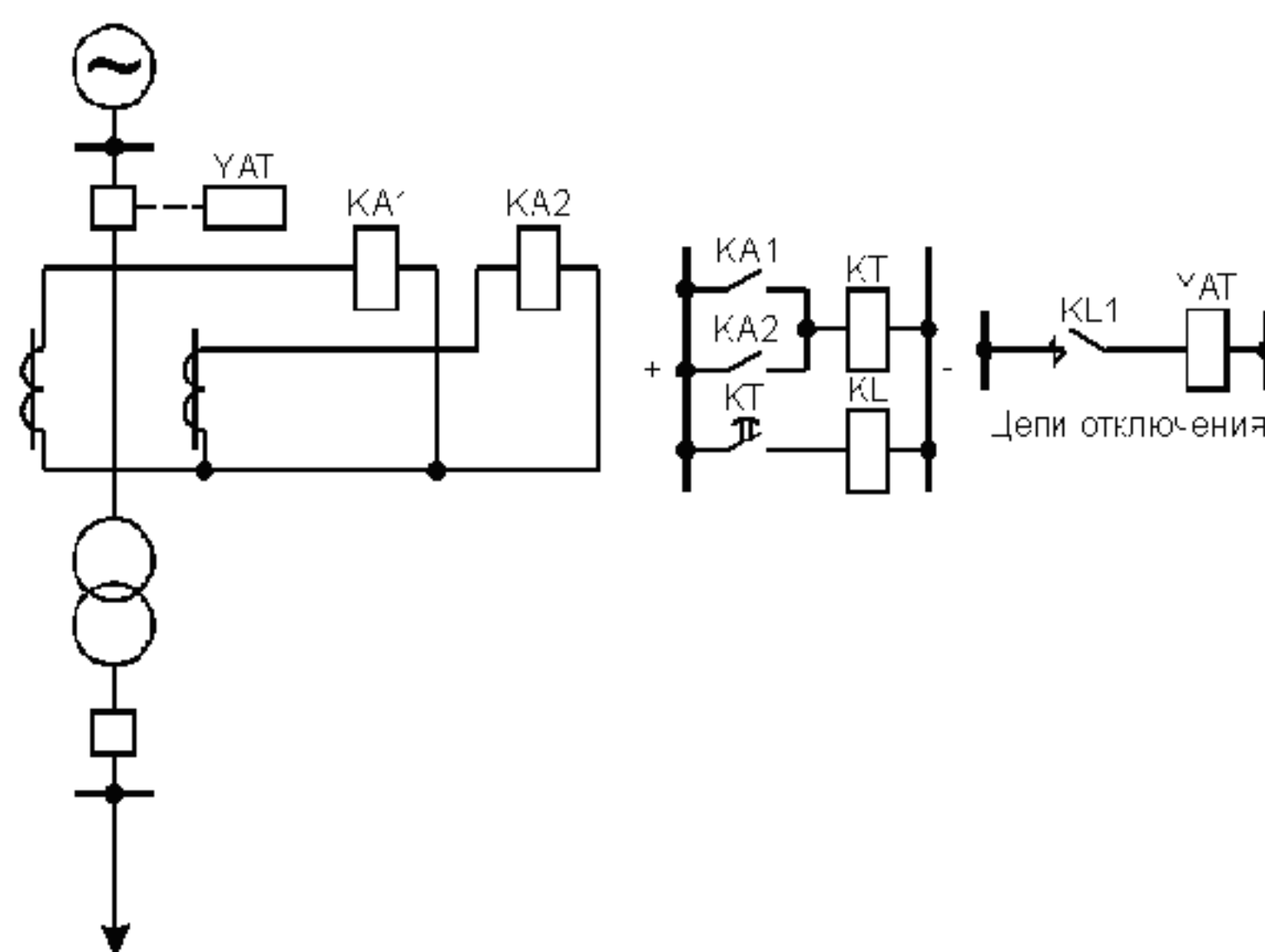


Рисунок 21 – МТЗ двухобмоточного трансформатора

Чувствительность защиты проверяется при КЗ в конце линий, отходящих от шин низшего напряжения:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кз. min}}}{I_{\text{с.з}}} > 1,3$$

Выдержка времени максимальной токовой защиты выбирается по условию селективности действия, на Δt больше выдержки времени присоединений, питающихся от шин низшего напряжения.

На рис.21 изображена схема максимальной токовой защиты трехобмоточного трансформатора.

В этом случае максимальная токовая защита должна:

1. При повреждении внутри трансформатора отключить его со всех сторон, откуда возможна подпитка места КЗ;
2. При внешнем КЗ селективно отключить лишь ту сторону, на которой произошло повреждение.

При одностороннем питании устанавливается два комплекта максимальных токовых защит. Один комплект со стороны обмотки низшего напряжения действует на отключение выключателей этой обмотки. Другой комплект со стороны обмотки высшего напряжения действует с двумя выдержками времени, с меньшей – на отключение выключателей обмотки среднего напряжения и с большей на выключение всех выключателей трансформатора (рис.22).

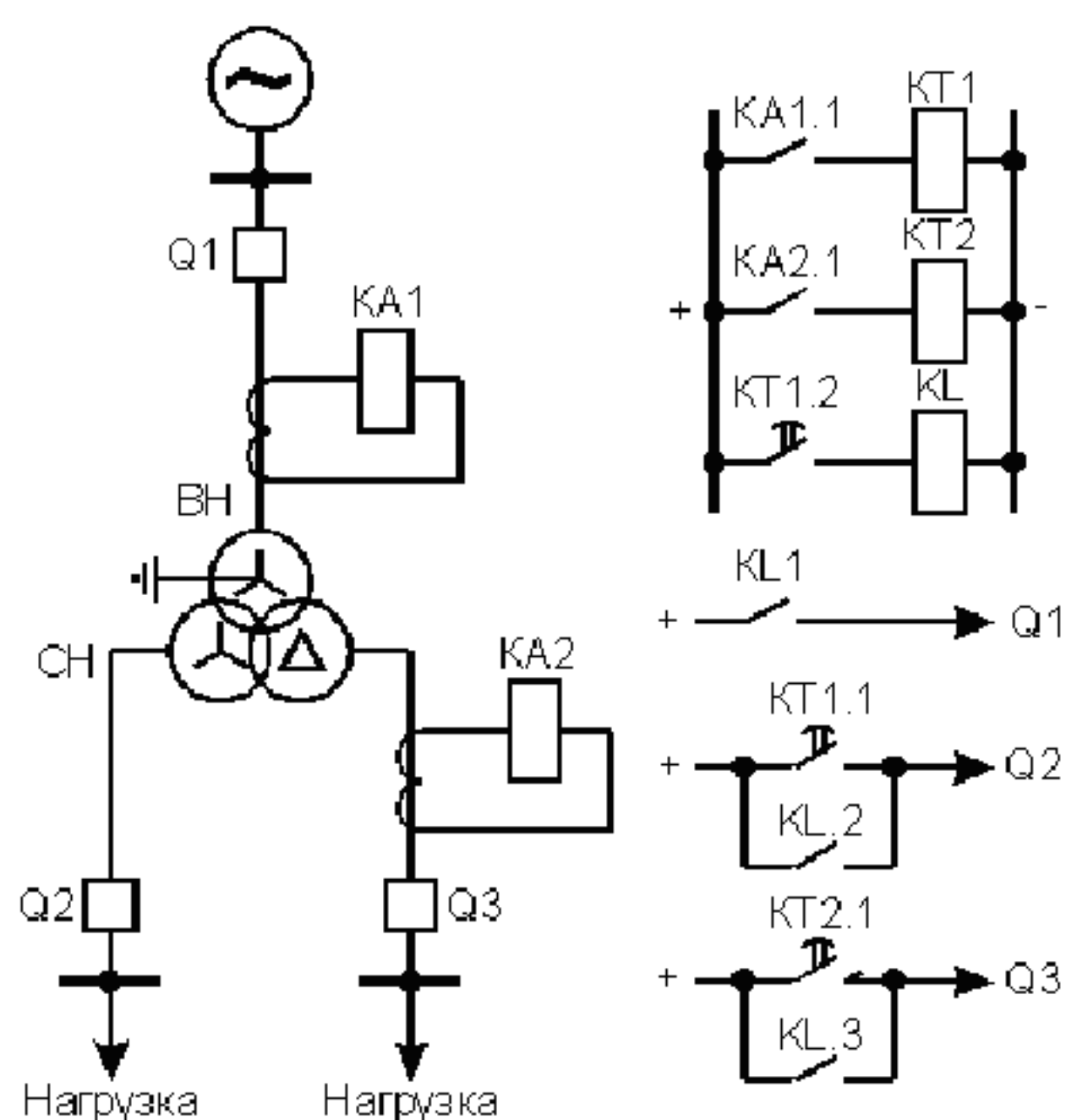


Рисунок 22 – МТЗ трехобмоточного трансформатора

В целях упрощения допускается не устанавливать защиты на одной из питаемых сторон, например среднего напряжения, при этом со стороны питания защита имеет две выдержки времени: с меньшей из них она действует на отключение той стороны, где защиты отсутствуют, а с большей – на выходное реле.

На трехобмоточных трансформаторах с двух- или трехсторонним питанием для обеспечения селективности действия максимальная токовая защита дополняется органами направления мощности.

На неответственных трансформаторах, имеющих АПВ и АВР допускается, применять ненаправленную максимальную токовую защиту. Неселективное действие защиты в этом случае исправляет действие автоматики.

На повышающих трансформаторах простая максимальная токовая защита не удовлетворяет по чувствительности, поэтому применяется максимальная токовая защита с пуском по напряжению.

Защита устанавливается на ту сторону трансформатора, откуда подается питание. Наличие реле напряжения позволяет выбрать ток срабатывания защиты без учета тока перегрузки

$$I_{с.з} = \frac{k_H}{k_B} \cdot I_{ном},$$

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

Блокировка по напряжению может быть выполнена или на базе двух реле минимального напряжения, включенных на междофазные напряжения

(рис.23 а), или (для трансформаторов мощностью 16 МВЧА и более) на базе одного реле минимального напряжения, включенного на выход фильтра напряжения обратной последовательности (рис.23 б).

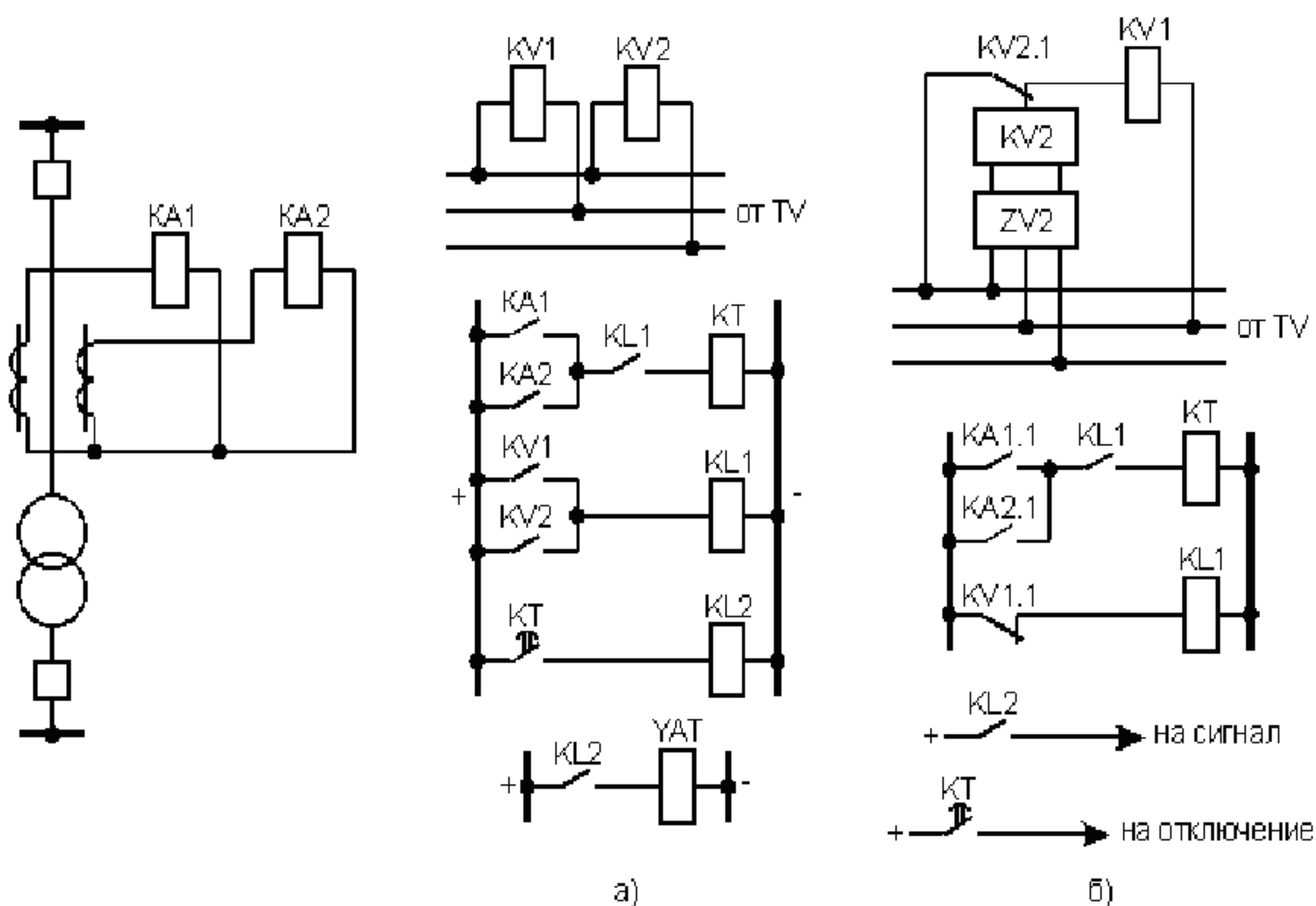


Рисунок 23 – Схемы МТЗ с пуском по напряжению

Напряжение срабатывания принимается равным:

$$U_{с.з} = \frac{U_{раб.мин}}{k_v \cdot k_n},$$

где k_n - коэффициент надежности, равен 1,1 ; $U_{раб.мин}$ - минимальное рабочее напряжение; $U_{раб.мин} = (0,9...0,95) \cdot U_{ном}$.

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения, включенного на выход фильтра напряжения обратной последовательности:

$$U_{2с.з} = 0,06 \cdot U_{ном}.$$

При недостаточной чувствительности максимальной токовой защиты с блокировкой минимального напряжения применяют максимальную токовую защиту обратной последовательности.

Защита имеет пусковой орган – токовое реле, включенный через фильтр нулевой последовательности. Защита приходит в действие при протекании через трансформатор токов обратной последовательности, вызванных несимметричными внешними КЗ или внутри трансформатора.

Ток срабатывания защиты выбирается по условиям: отстройки от токов небаланса фильтра токов обратной последовательности в режиме максимальной нагрузки и согласованию по чувствительности с защитами присоединений со стороны высшего напряжения.

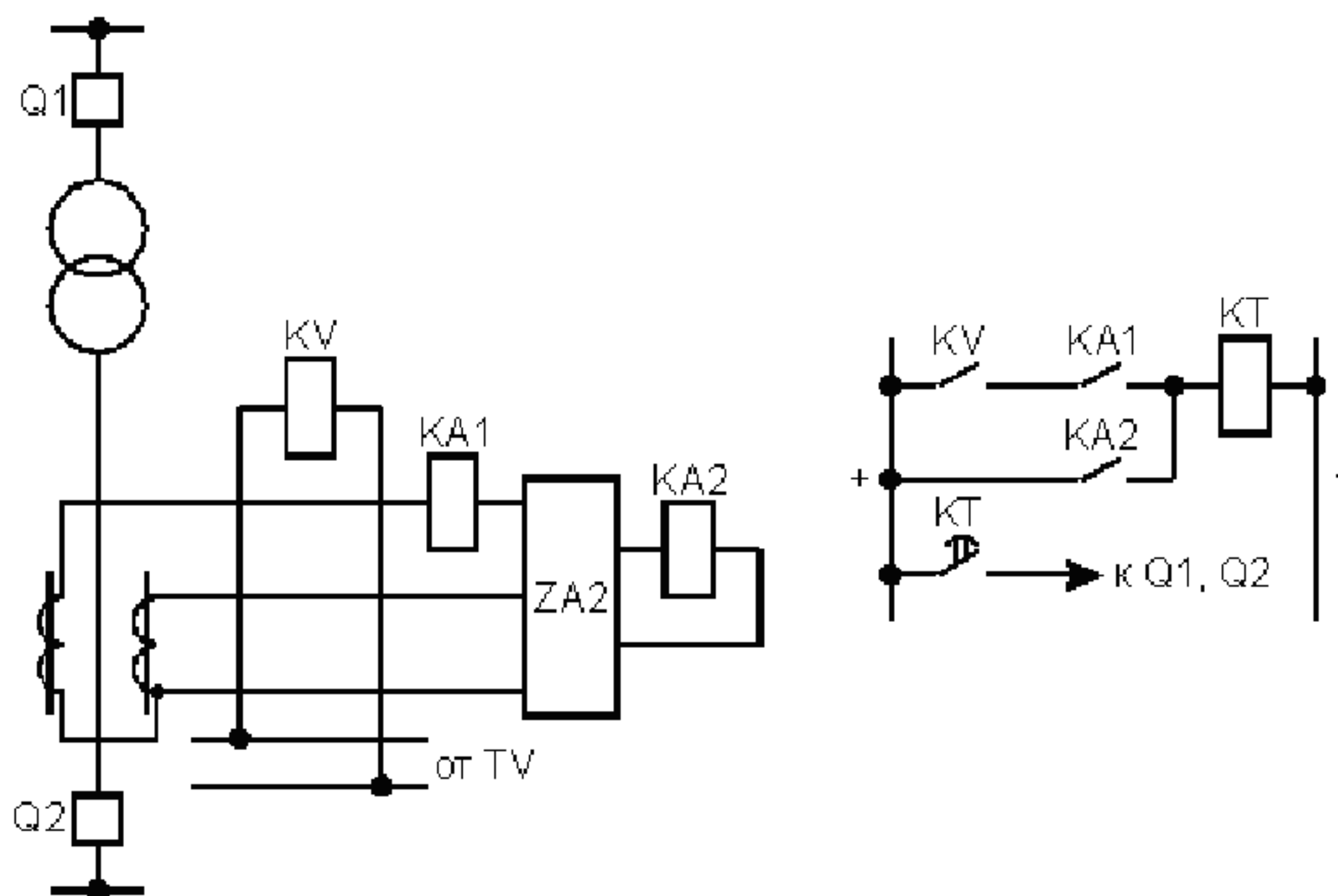


Рисунок 24 – Схема МТЗ обратной последовательности

Практика показала, что эти условия выполняются при $I_{с.з} = (0,5...0,7) \cdot I_{ном}$. Однако защита обратной последовательности не действует при симметричных КЗ. Поэтому она дополняется приставкой, реагирующей на симметричные КЗ. Приставка представляет собой максимальную токовую защиту с пуском минимального напряжения в однофазном исполнении (рис.24).

На двухобмоточных трансформаторах защита от перегрузки устанавливается со стороны питания. На трехобмоточных трансформаторах при двухстороннем питании защиты устанавливаются с двух сторон, а при трехстороннем – с трех сторон (рис.25).

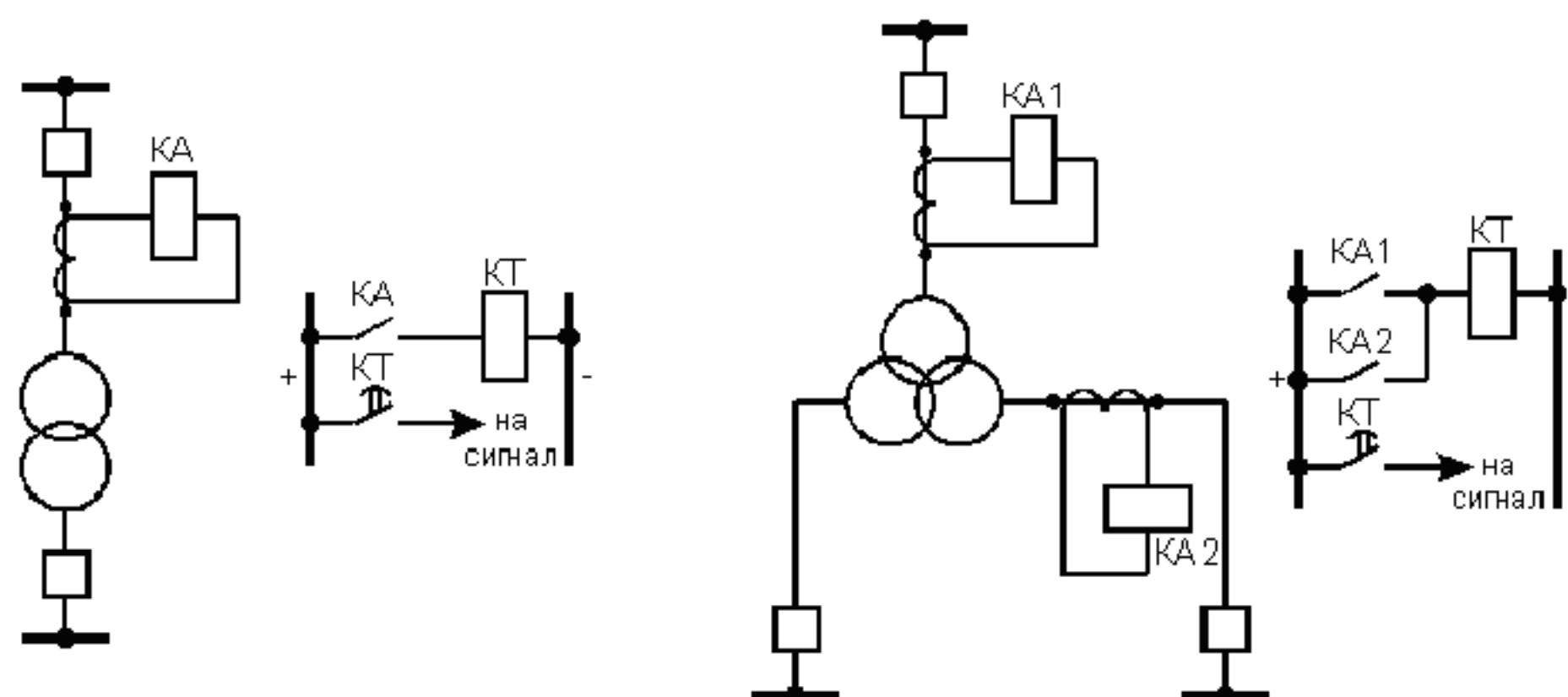


Рисунок 25 – Схема МТЗ от перегрузок

Так как перегрузка обычно симметрична, то защиту выполняют в однофазном исполнении. Защита действует с выдержкой времени на сигнал. На подстанции без сопровождающего персонала защита от перегрузки выбирается с тремя выдержками времени. Время действия первой ступени на Dt больше, чем у максимальной токовой защиты от внешних КЗ. Вторая ступень действует на разгрузку трансформатора, третья ступень – на его отключение.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты от перегрузки выбирается из условия:

$$I_{с.з} = \frac{k_H}{k_\theta} \cdot I_{ном}$$

Токовая отсечка применяется на трансформаторах мощностью ниже 6300 кВЧА, работающих одиночно и 4000 кВЧА, работающих параллельно. В зону действия токовой отсечки входят ошиновка, выводы и часть обмотки трансформатора со стороны питания. Токовые отсечки предназначены для защиты от междуфазных КЗ и действуют без выдержки времени.

Токовая отсечка устанавливается со стороны питания (рис.58).

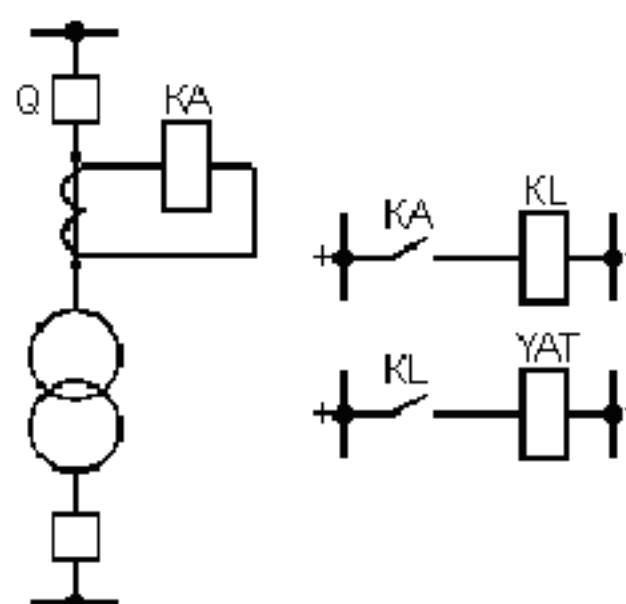


Рисунок 26 – Схема токовой отсечки

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

Ток срабатывания токовой отсечки выбирается по двум условиям:

1. Токовая отсечка не должна работать при КЗ за трансформатором

$$I_{с.з} = k_n \cdot I_{к.мах} ,$$

где $k_n = 1,25 \dots 1,5$; $I_{к.мах}$ – максимальное значение тока повреждения, протекающего через защиту при КЗ за трансформатором.

2. Токовая отсечка должна отстраиваться от броска тока намагничивания $I_{нам}$, возникающего при включении трансформатора под напряжение:

$$I_{с.з} > I_{нам} ,$$

Оба эти требования выполняются, если ток срабатывания выбрать

$$I_{с.з} = (3 \dots 5) \cdot I_{ном} .$$

Чувствительность отсечки характеризуется коэффициентом чувствительности:

$$k_q = \frac{I_{кз.мин}}{I_{с.з}} ,$$

где $I_{кз.мин}$ – минимальный ток, проходящий через защиту, при двухфазном КЗ на выводах трансформатора со стороны источника питания.

Чувствительность защиты считается достаточной если

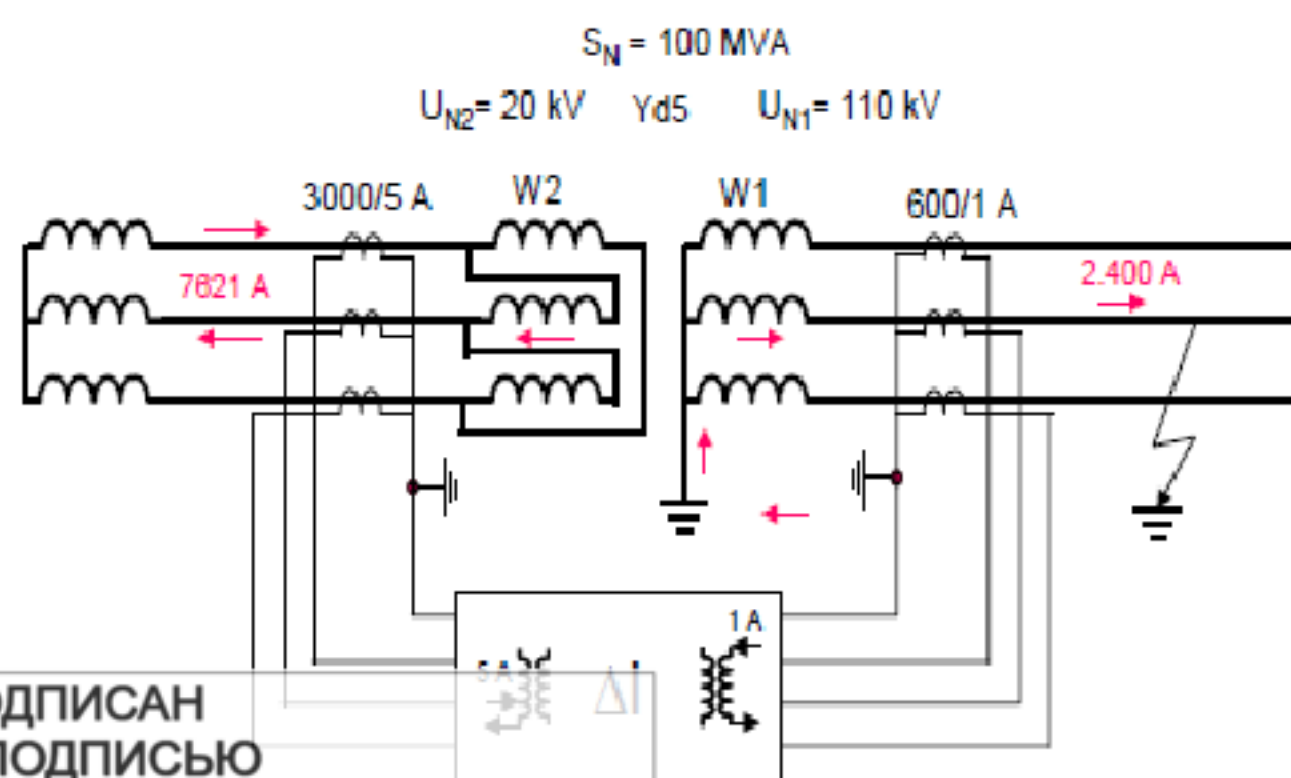
$$k_q \geq 2 .$$

Задания:

Задание №1

Силовой трансформатор Yd5 (в соответствии с рис.)

Определить последовательность производимых цифровым устройством дифференциальной защиты вычислений при внешнем КЗ (см. Рис. 27). Доказать, что срабатывания защиты при данных условиях не происходит.



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

Рисунок 27 – Расчетная схема электроснабжения

Задание №2

Трехобмоточный трансформатор (в соответствии с рис.28).

Определить конфигурацию и значение уставки функции выравнивания измеряемых величин.

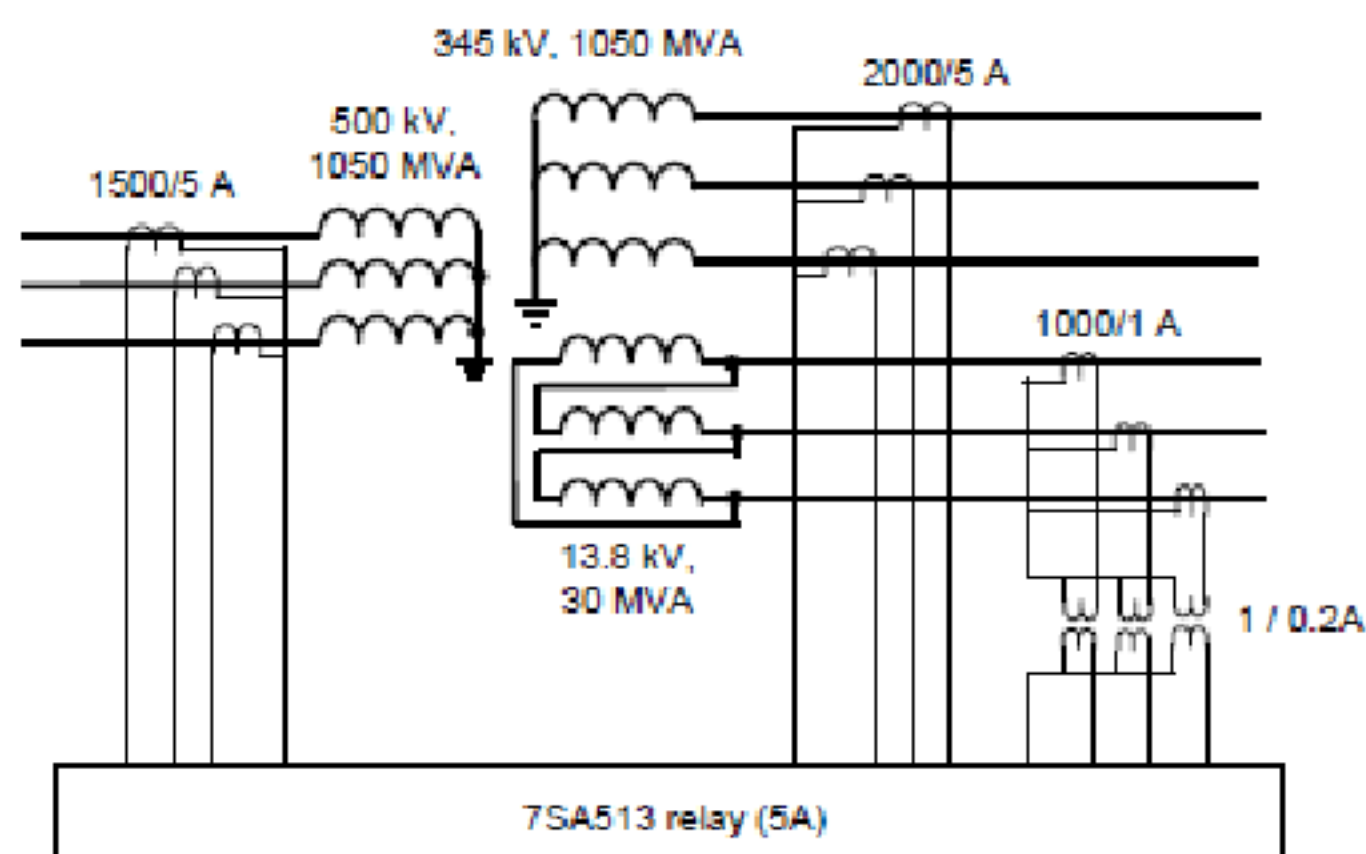


Рисунок 28 – Схема соединений трехобмоточных трансформаторов

Задание №3

В сети, конфигурация которой представлена далее (рис.29), происходит однофазное КЗ.

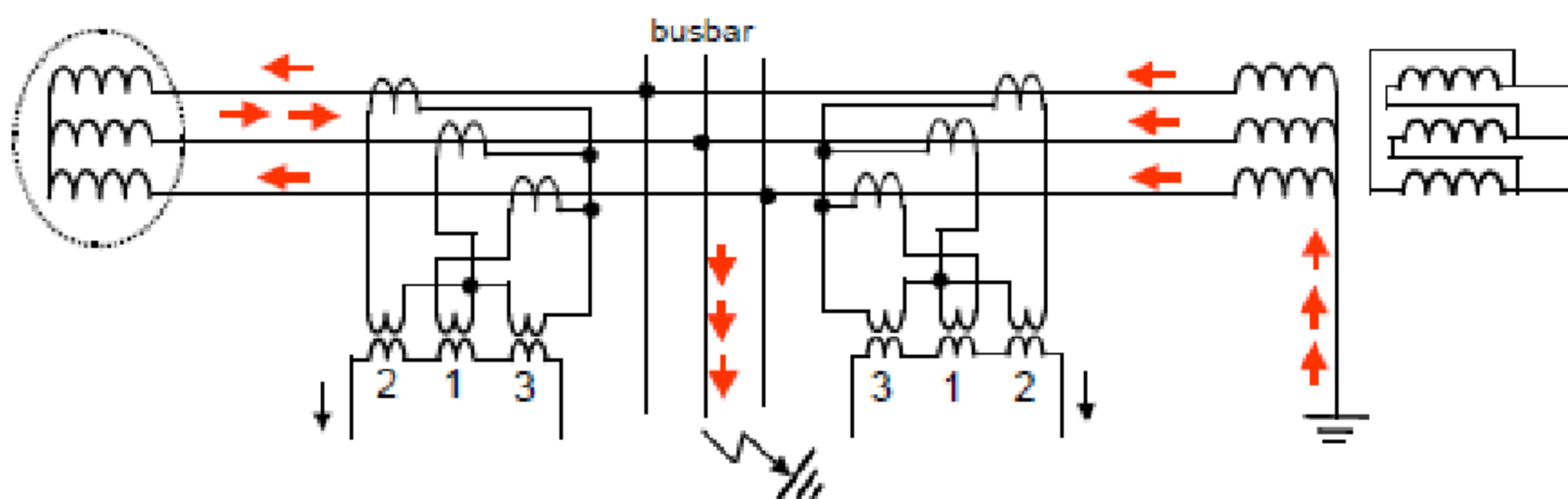


Рисунок 29 – Схема сети

Будет ли происходить срабатывание модификации защиты 7SS600 с суммирующим ТТ?

Задание №4

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

Несомненно, что ТТ, предназначенные для использования цифровыми устрой-
ствами защиты участка сети, представленного на рис

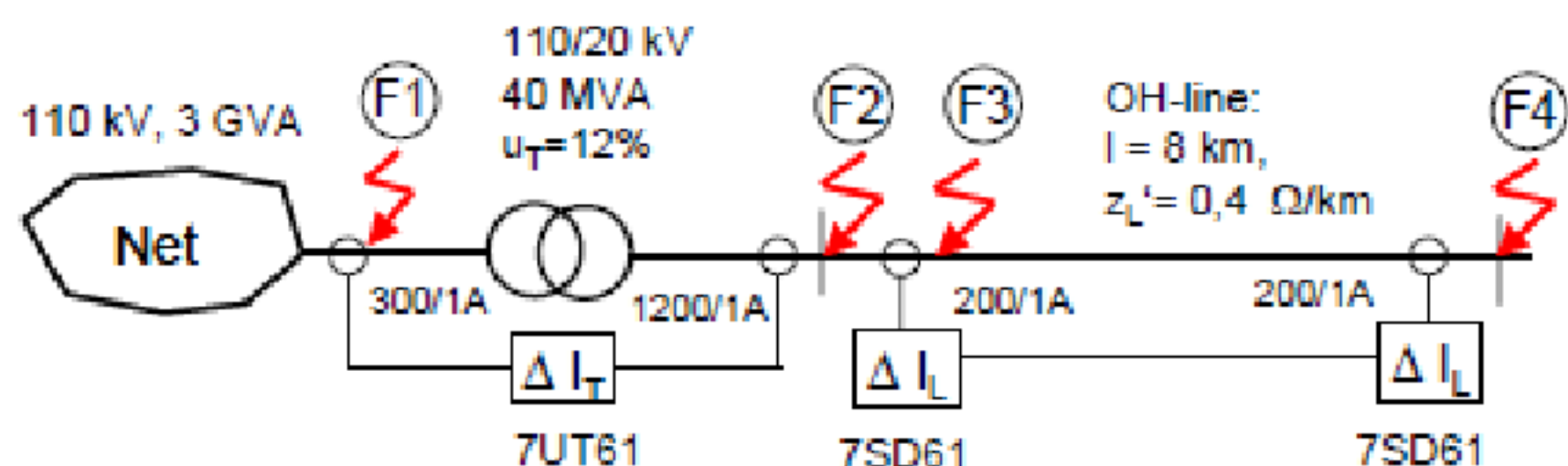


Рисунок 30 – Схема сети

Задание №5

Коэффициент трансформации ТТ присоединения должен быть скорректирован с 600/1 на 400/1 для дифференциальной защиты.

При этом должен быть использован промежуточный ТТ 4AM5170-7AA (данные приведены на рис.). Нагрузка устройства защиты и подключенных контрольных кабелей составляет 1 ВА.

Использование какого промежуточного ТТ предпочтительней? (обеспечение гальванической развязки необязательно) На рис. 31 приведено две возможных схемы подключения

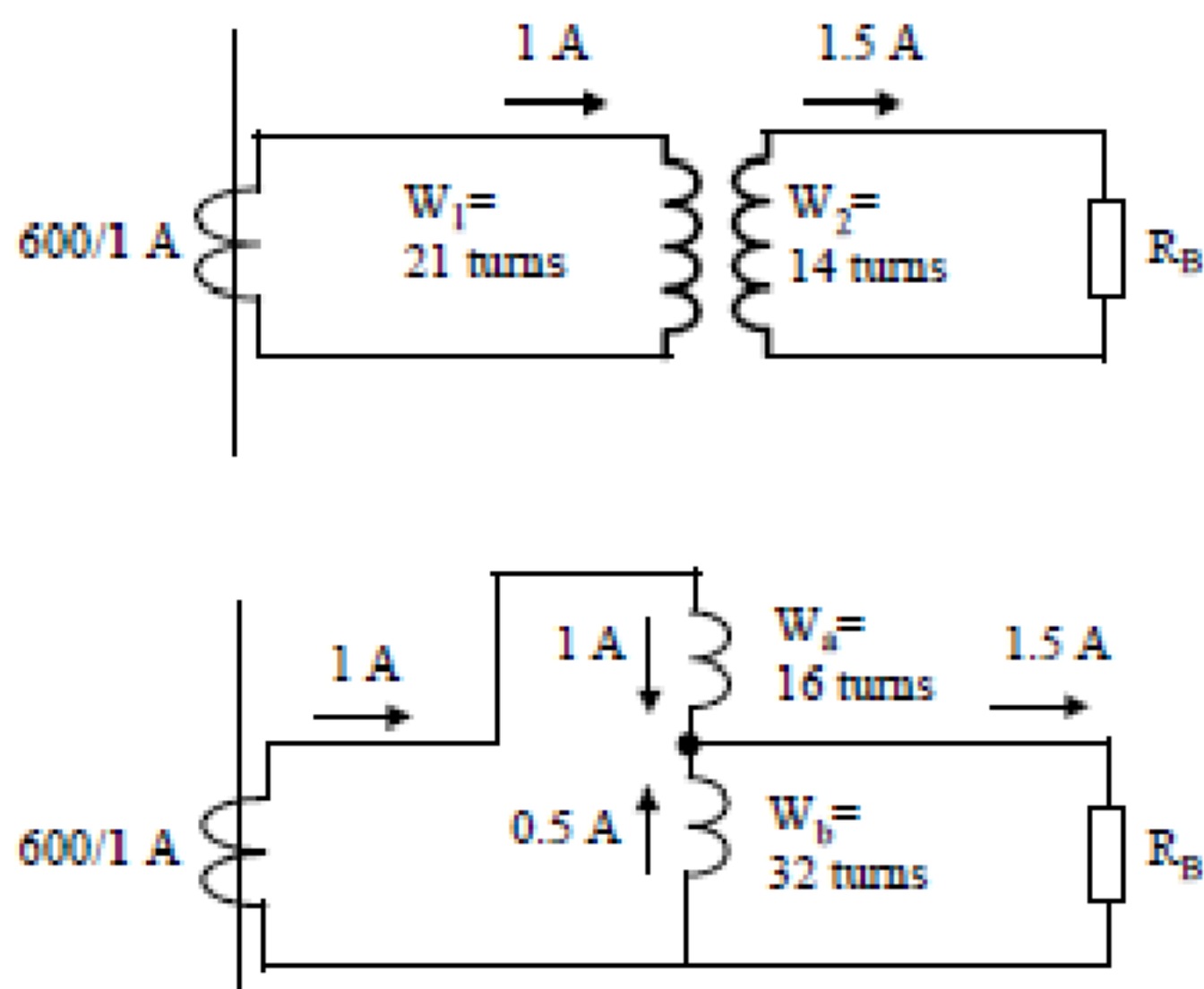


Рисунок 31 – Схема соединений трансформаторов тока

Практическая работа №6. Определение расчётных нагрузок на трансформаторы тока.

Цель: Определение расчетных нагрузок на трансформаторы тока (ТТ).

Основы теории:

Нагрузка на ТТ зависит от схемы соединений ТТ, от вида К.З., величины внешних сопротивлений проводов R_{np} , сопротивлений реле Z_p и других аппаратов, включенных последовательно в цепи тока каждой фазы и нулевой провод.

В целях упрощения вычислений все внешние сопротивления складываются арифметически (а не геометрически), чем создается некоторый расчетный запас.

Расчетной нагрузкой на ТТ называют наибольшее сопротивление Z_H , вычисляемое по формуле:

$$Z_H = \frac{U_T}{I_T},$$

Т.е. отношение напряжения U_T на зажимах вторичной обмотке ТТ к вторичному току I_T в этой обмотке и составляет нагрузку на ТТ.

Из схемы Рис. 3.1. видим:

- при трехфазной К.З. ток в нулевом проводе равен нулю (токами небаланса пренебрегаем);
- вторичные токи равны по величине и сдвинуты по фазе по отношению друг к другу 120° ;
- напряжение на вторичной обмотке каждого ТТ:

$$U_T^{(3)} = I_T^{(3)} (R_{np} + Z_p);$$

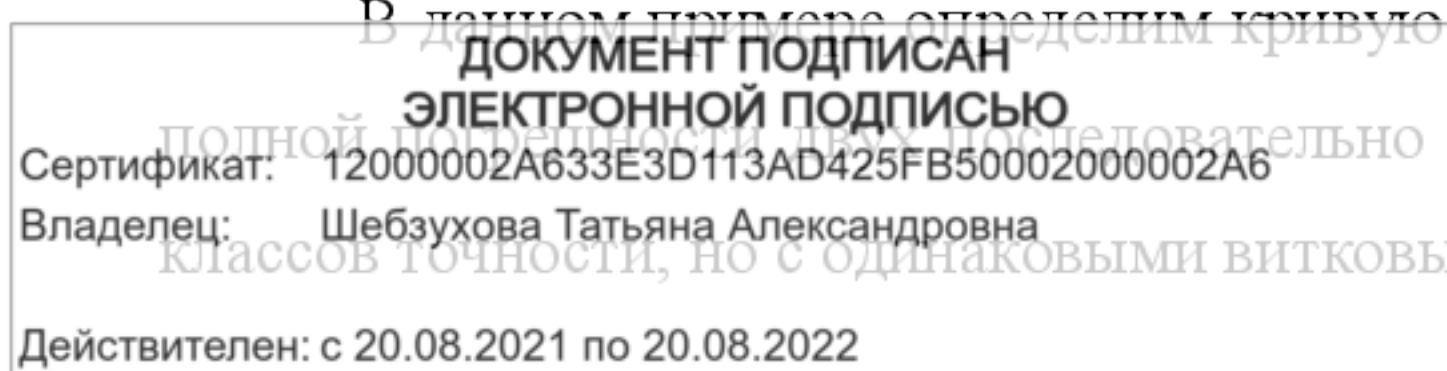
$$Z_H = \frac{U_T^{(3)}}{I_T^{(3)}} = R_{np} + Z_{np}$$

Расчетное значение $Z_{H,расч}$ следует принять для того ТТ, у которого сопротивления реле в фазном проводе наибольшие.

Задания:

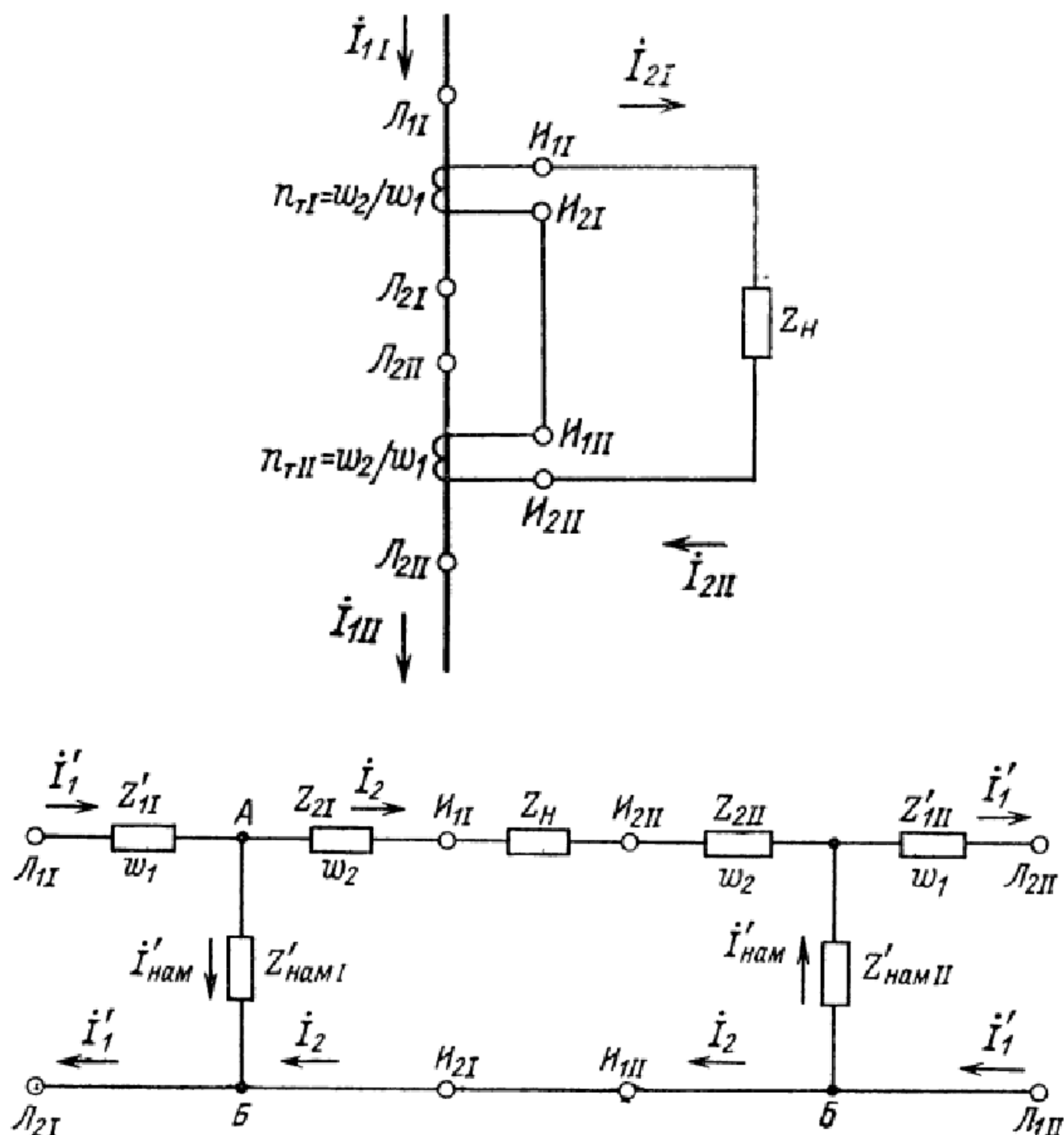
Задание №1

В данном примере определим кривую предельной кратности, т. е. 10%-ную кривую соединенных вторичных обмоток ТТ разных классов точности, но с одинаковыми витковыми коэффициентами трансформации.



Задание №2

Определить характеристику холостого хода: $f_2=f(I_{\text{нам}})$ двух последовательно соединенных ТТ класса 0,5 и Д типа ТФНДНОМ-Д/Д/0,5 600/5. Характеристики холостого хода ТТ 0,5 и Д. Схемы соединения и замещения такой группы приведены на рис.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Практическая работа №7. Расчёт полной и токовой погрешностей трансформаторов тока по кривым 10%-й погрешности.

Цель: Определение токовой и полной погрешностей, сечений жил контрольных кабелей по кривым 10%-ной погрешности, максимального вторичного тока ТТ.

Основы теории:

Реле - Z_p , приборов - $Z_{пр}$, жил контрольного кабеля - $Z_{каб}$, переходного сопротивления в местах контактных соединений - R_k :

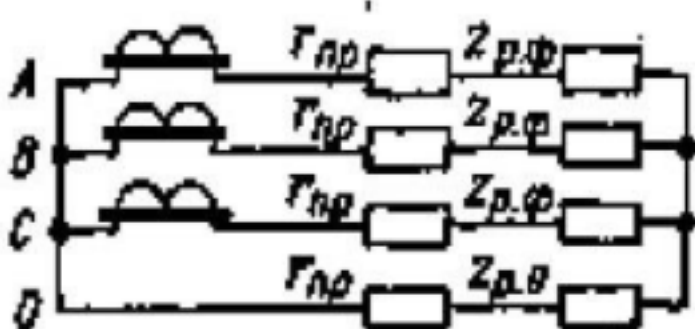
$$Z_H = Z_p + Z_{пр} + Z_k + R_k.$$

Нагрузка вторичной обмотки ТТ зависит так же от схемы их соединения и вида К.З.

В задаче 3.2. были выведены формулы для определения сопротивлений нагрузки при соединении вторичных обмоток в ТТ Δ , реле в Y для трехфазного, двухфазного и однофазного К.З.

Расчетные формулы для определения сопротивления нагрузки для наиболее распространенных схем соединения вторичных обмоток ТТ и при различных видах К.З. приведены:

Расчетные формулы для определения сопротивления нагрузки в зависимости от
схемы соединения ТТ

Схема соединения ТТ и реле.	Вид короткого замыкания	Формулы для определения нагрузки на зажимах вторичных обмоток
1. Полная звезда $K_{сх}=1.0$ 	Трехфазное и двухфазное	$Z_{н.расч} = R_{пр} + Z_p + R_{пер}$ Величина $R_{пер}$ во всех случаях принимается равной 0.1 Ом.
	Однофазное	$Z_{н.расч} = 2R_{пр} + Z_{р.ф} + Z_{р.0} + R_{пер}$
2. Неполная звезда $K_{сх}=1.0$	Трехфазное	$Z_{н.расч} = \sqrt{3}R_{пр} + Z_{р.ф} + Z_{р.обр} + R_{пер}$
	Двухфазное	$Z_{н.расч} = 2R_{пр} + Z_{р.ф} + Z_{р.обр} + R_{пер}$
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ		

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

	Двухфазное за трансформатором Y/Δ-11	$Z_{н\cdot расч} = 2R_{пр} + Z_{р.ф} + Z_{р.обр} + R_{пер}$
3. На разность токов двух фаз $K_{сх} = 1.73$	Трехфазное	$Z_{н\cdot расч} = \sqrt{3}(2R_{пр} + Z_{р}) + R_{пер}$
	Двухфазное AC	$Z_{н\cdot расч} = 4R_{пр} + 2Z_{р} + R_{пер}$
	Двухфазное AB или BC	$Z_{н\cdot расч} = 2R_{пр} + Z_{р} + R_{пер}$
4. Треугольник $K_{сх} = 1.73$	Трехфазное или двухфазное, трехфазное за трансформатором Y/Δ-11	$Z_{н\cdot расч} = 3R_{пр} + 3Z_{р} + R_{пер}$
	Однофазное	$Z_{н\cdot расч} = 2R_{пр} + 2Z_{р} + R_{пер}$

Допустимая нагрузка на ТТ определяется исходя из обеспечения точности измерительных органов релейной защиты при К.З. в расчетных точках электрической сети. Полная погрешность ТТ ξ не должна превышать 10%.

Проверка ТТ по действительным характеристикам намагничивания производится в следующем порядке:

1. Определяется фактическая нагрузка Z_H , подключенная к вторичной обмотке с учетом формул, приведенных в таблице 4.1;
2. Определяется расчетный первичный и вторичный токи К.З., которые равны максимальному току К.З. в конце защищаемой зоны.
3. Определяется расчетный ток намагничивания:

$$I_{2нам.расч.} = 0,1 \cdot I_{2К.З.расч.}$$
4. Строится наиболее низкая характеристика намагничивания проверяемых ТТ и по этой характеристике и по полученному выше току намагничивания определяется соответствующее ему значения напряжения $U_2 = f(I_{нам})$
5. Определяется допустимое сопротивление нагрузки, при по которой погреш-

ность ТТ не превышает 10% по формуле:

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

$$Z_{H доп} = \frac{U_2 - I_{2расч.} \cdot Z_1}{0,9 \cdot I_{2расч.}}$$

Для того, чтобы погрешность ТТ не превышала допустимых 10%, рассчитанная в п.1. нагрузка на его вторичную обмотку не должна превышать значения $Z_{H.доп.}$, определенного в п.5.

Задания:

Задание №1

Определить погрешности ТТ типа ТПФ-1/3, 200/5 при одинаковой нагрузке на его вторичные обмотки $Z_H = 10\text{Ом}$. Сопротивление вторичных обмоток $Z_2 = 0,3\text{Ом}$ для обмотки класса *I* и $Z_2 = 0,4\text{Ом}$ для обмотки класса *III*.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Практическая работа №8. Дистанционные защиты линий

Цель: Изучить способы расчета дистанционных защит, которые сводятся к определению, сопротивлений срабатывания, выдержек времени и чувствительности отдельных дистанционных ступеней и пусковых органов защиты, параметры срабатывания и чувствительности защиты при качаниях.

Основы теории:

В сетях сложной конфигурации с несколькими источниками питания максимальные токовые направленные защиты и тем более простые максимальные токовые защиты не могут обеспечить селективности отключения к.з. В этом легко убедиться на примере кольцевой сети с двумя источниками питания, представленной на рис. 5-1.

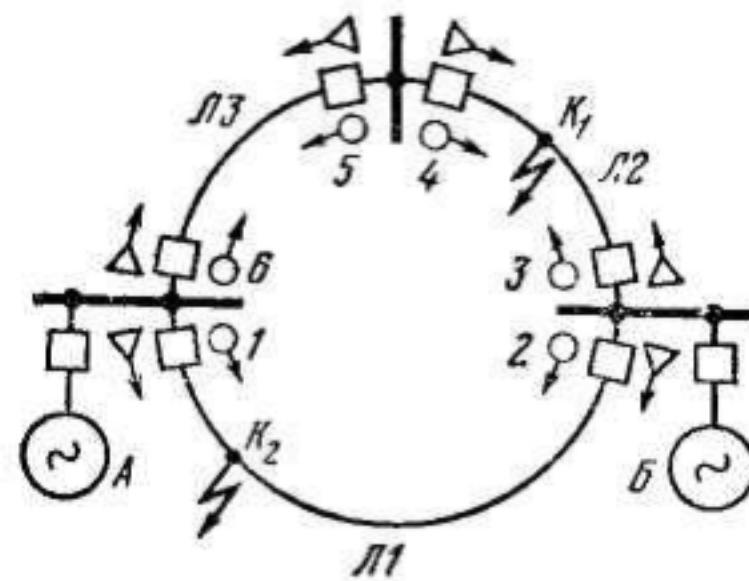


Рис.5-1. Схема кольцевой сети с двумя источниками

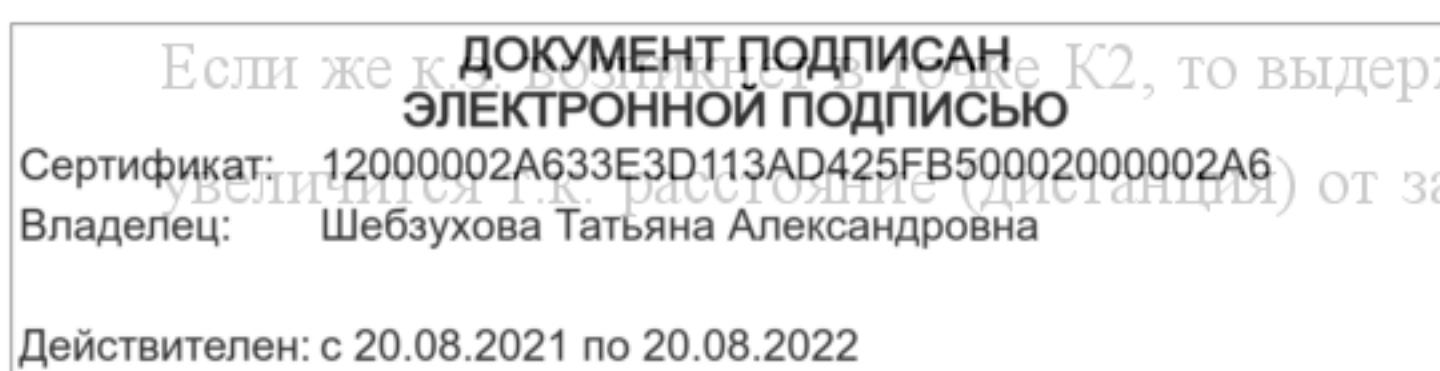
При к.з. в точке K1 защита 3 должна работать быстрее защиты 1, а при к.з. в точке K2 наоборот защита 1 должна работать быстрее защиты 3.

Кроме того, максимальные токовые защиты часто не удовлетворяют требованиям быстродействия и чувствительности. Поэтому, для защиты сетей со сложной схемой и с несколькими источниками питания применяются более сложные дистанционные защиты (ДЗ), которые обеспечивают необходимую селективность, быстродействие и чувствительность.

Дистанционной защитой называется защита, выдержка времени которой автоматически изменяется в зависимости от удалённости (от расстояния или дистанции) места к.з. от места установки защиты.

Например, при к.з. в точке K1 (рис. 5-2) защита 2, расположенная ближе к месту повреждения должна работать с меньшей выдержкой времени, чем более удалённая защита 1.

Если же к.з. произошло в точке K2, то выдержка времени защиты 2 автоматически должна увеличиться т.к. расстояние (дистанция) от защиты 2 до места к.з. K2 больше чем при к.з.



К1. В последнем случае к.з. будет селективно отключено защитой 3, расположенной ближе к месту повреждения и, следовательно, имеющей меньшую выдержку времени.

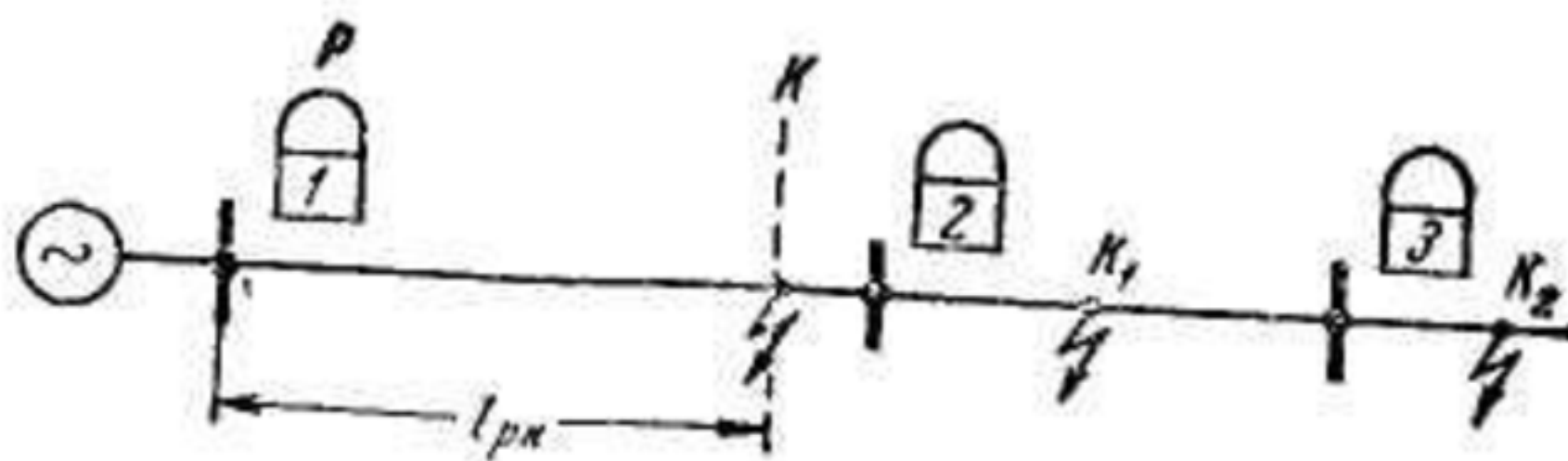


Рис.5-2. Зависимость выдержки времени дистанционной защиты от расстояния до места к.з.

Таким образом, при к.з. на линии по защищаемой линии проходит ток $I_{к.з.} > I_{норм}$, а напряжение на шинах подстанции, питающей линию, снижается $U_{ш} < U_{норм}$ и равно падению напряжения в сопротивлении участка линии $Z_{к.з.}$ от шин подстанции до точки к.з.

$$U_{ш} = I_{к.з.} Z_{к.з.}$$

Нетрудно видеть, что отношение остаточного напряжения на шинах к току к.з. равно сопротивлению участка линии до места к.з.:

$$Z_{к.з.} = \frac{U_{ш}}{I_{к.з.}} < Z_{л.норм.}$$

Сопротивление линии или её участка можно выразить через удельное сопротивление $Z_{уд.}$ и расстояние до места к.з. $L_{к.з.}$:

$$Z_{к.з.} = Z_{уд.} L_{к.з.}$$

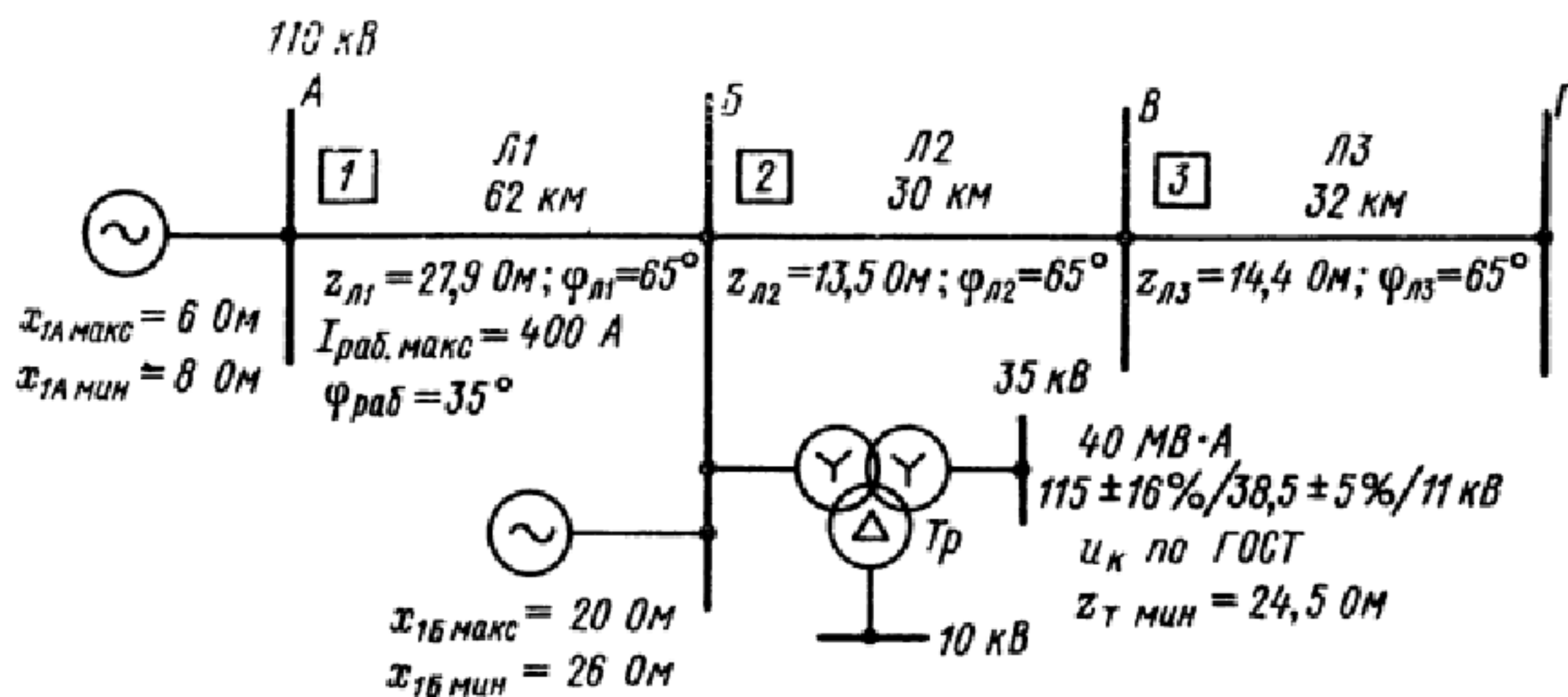
Следовательно, отношение остаточного напряжения на шинах к току к.з., проходящему по защищаемой линии пропорционально расстоянию (дистанции) $L_{к.з.}$ от места установки защиты до места к.з.

Для защиты сетей напряжением 110 кВ и выше со сложной конфигурацией и с несколькими источниками питания применяются дистанционные защиты (ДЗ) выдержка времени которых автоматически изменяется в зависимости от расстояния (дистанции) места к.з. до места установки защиты.

Задания:

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

По данным, приведенным, на рис, определить для всех ступеней трехступенчатой дистанционной защиты 1 типа ПЗ2 первичные сопротивления срабатывания и выдержки времени.



Задание №2

Определить первичное сопротивление срабатывания второй ступени защиты 1 типа ПЗ4 если длина линии Л2 12 км и ее сопротивление 5,4 Ом.

Задание №3

Показать, что при включении реле минимального сопротивления на разность токов двух фаз и разность одноименных фазных напряжений к нему подводится при двухфазном к. з. на землю такое же сопротивление, как и при двухфазном и трехфазном к. з., т. е.

$$Z_p^{(1,1)} = Z_p^{(2)} = Z_p^{(3)} = Z_{уд} l.$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Практическая работа №9. Расчет уставок максимальной токовой защиты.

Цель: Изучить методы расчета установок МТЗ.

Основы теории:

Выбор уставок максимальных токовых защит заключается в определении первичных и вторичных токов срабатывания, времени срабатывания, типов реле, минимальных коэффициентов чувствительности при металлических К.З. в конце защищаемых зон, когда эти защиты действуют в качестве основных и резервных. Кроме того защиты двух и более последовательно соединенных элементов (например трансформатор-линии-двигатели) должны быть согласованы по чувствительности и по времени, т.е. оны должны действовать селективно: отключать место повреждения ближайшим выключателем.

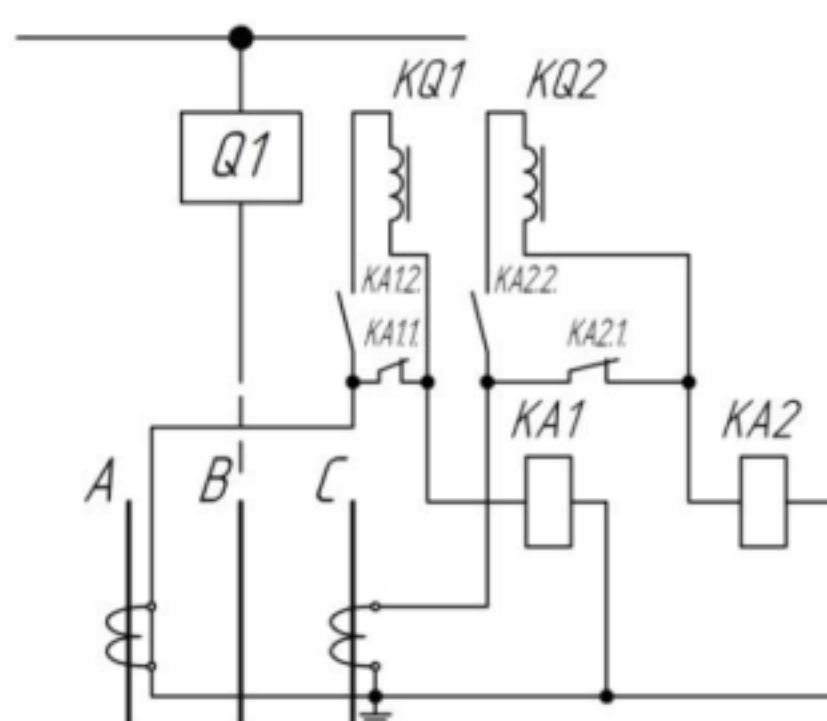


Рис.6.2. Схема двухфазной релейной защиты с дешунтированием катушек дешунтирования выключателя.

Первичный ток срабатывания МТЗ должен быть отстроен, от токов самозапуска полностью заторможенных электродвигателей и другой нагрузки при включении защищаемого элемента после ликвидации К.З. Кроме того, защиты не должны приходить в действие при максимально возможном токе нагрузки. Исходя из этих условий первичный ток срабатывания защиты в симметричном нормальном режиме вычисляется по формуле:

$$I_{с.з} = \frac{k_n \cdot k_z \cdot I_{p.max}}{k_B}, [6.1]$$

Где $k_n = 1,2...1,3$ - коэффициент надежности;

k_z - коэффициент самозапуска нагрузки;

k_B - коэффициент возврата реле;

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

формуле:

[6.2]

где $k_{cx}^{(3)}$ - коэффициент схемы – отношение тока в реле к вторичному току ТТ в симметричном нормальном режиме и при трехфазном К.З. Так при соединении ТТ в Δ или на разность токов двух фаз $k_{cx}^{(3)} = \sqrt{3}$; при соединении ТТ в полную или неполную $k_{cx}^{(3)} = 1$.

В тех случаях, когда $I_{p.max}$ (максимальный рабочий ток) неизвестен, его принимают равным длительному допустимому току нагрузки согласно ПУЭ, т.е.

$$I_{p.max} = I_{дл.дон} \quad [6.3.]$$

Коэффициент чувствительности определяют при минимальных токах К.З. по формуле

$$k_4 = \frac{I_p}{I_{c.p.}} = \frac{k_{cx}^{(2)} \cdot \frac{I_{к.з.min}}{k_{ТТ}}}{k_{cx}^{(3)} \cdot \frac{I_{с.з}}{k_{ТТ}}} = \frac{k_{cx}^{(2)} \cdot I_{к.з.min}}{k_{cx}^{(3)} \cdot I_{с.з}} \quad [6.4]$$

На основании вышеизложенного

Определяем установки МТЗ 2

Т.к. согласно исходным данным $I_{p.max}$ и k_3 не заданы, принимаем для всех кабелей ток кабеля $I_{каб.ном} = I_{p.max} = I_{дл.дон}$ и в соответствии с требованиями, приведенными в «Сборнике директивных материалов. Электрическая часть»

$$I_{с.з.МТЗ2} = 4I_{ном} = 4I_{дл.дон} \quad [6.5]$$

Согласно ПУЭ для алюминиевого кабеля сечением $3 \times 70 \text{ мм}^2$

$$I_{дл.дон} = 190 \text{ А, тогда}$$

$$I_{с.з.МТЗ2} = 4 \times 190 = 760 \text{ А}$$

Ток срабатывания реле согласно [6.2]

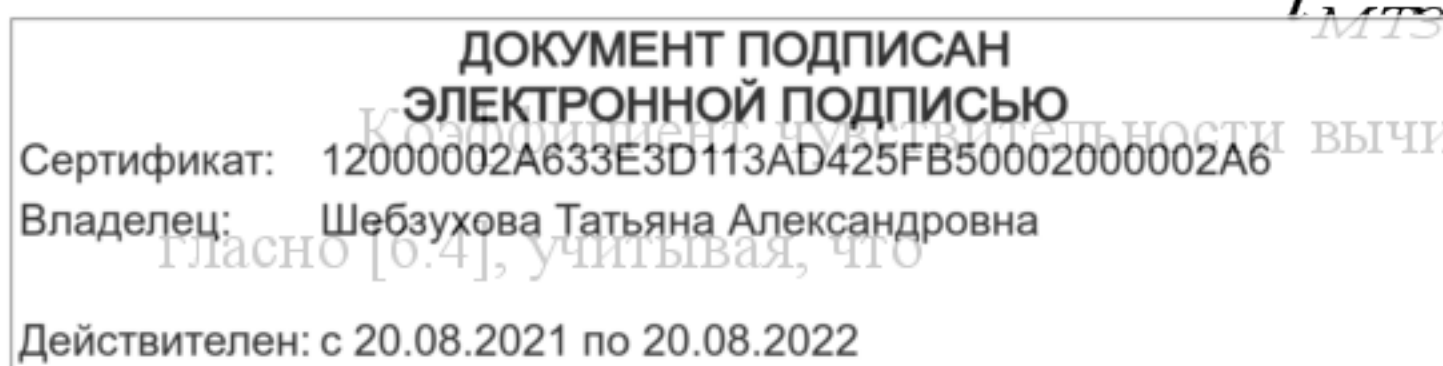
$$I_{c.p.} = 1 \cdot \frac{760}{400} = 9,5 \text{ [А]}$$

Выдержку времени в независимой части характеристики реле защиты 2 отстраиваемой от быстродействующей защиты элементов, присоединённых к шинам IV согласно [5.2] без учета $\Delta t_{МТЗ1}$ (токовая отсечка согласно исходным данным).

$$\Delta t_{зас.МТЗ2} = \Delta t_{МТЗ2} + \Delta t_{О.В.} + \Delta t_{П.О.} + t_{зас} = 0,1 + 0,1 + 0,15 + 0,1 = 0,45 \text{ [с]}$$

Принимаем минимально возможную уставку в независимой части характеристики времени срабатывания реле РТ-85/1

$$t_{МТЗ2у} = 0,5 \text{ с.}$$



Коэффициент чувствительности вычисляем при двухфазном К.З. на шинах IV согласно [6.4], учитывая, что

$$k_{cx.}^{(2)} = k_{cx.}^{(3)} = 1$$

$$k_{cx}^{(2)} = \frac{k_{cx}^{(2)} \cdot I_{к.з. min}}{k_{cx}^{(2)} \cdot I_{с.з. МТЗ 2}} = \frac{1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4300}{1 \cdot 760} = 4,9;$$

$k_{ч. МТЗ 2} = 4,9 > 1,5$, что удовлетворяет требованию ПУЭ. Далее определяем уставки МТЗ

3.

Ток срабатывания защиты вычисляем согласно [6.5]

$$I_{с.з. МТЗ 3} = 4I_{дл. доп.} = 4 \cdot 275 = 1100 [A]$$

Эта защита должна быть согласована по чувствительности с МТЗ 2: ее ток срабатывания выбирается на 30%...40% больше, чем ток срабатывания МТЗ 2.

$$I_{с.з. МТЗ 3} = k_{н.с.} \cdot I_{с.з. МТЗ 2}, \quad [6.6]$$

Где $k_{н.с.} = 1,3...1,4$ - коэффициент надежности согласования РТ-80 и РТ-90, установленных на линиях 6, 10 и 35кВ; для реле РТ-40 и РТВ соответственно $k_{н.с.} = 1,25$ и $1,5$; а, скажем, для реле РТ-40, установленных на линиях 110кВ и выше $k_{н.с.} = 1,1...1,2$.

Для МТЗ 3 $I_{с.з. МТЗ 3} = 1,4 \times 760 = 1064 [A]$.

Как видим, условие согласования близко к условию отстройки от токов самозапуска нагрузки

$$1064 A \begin{matrix} \rightarrow \\ \leftarrow \end{matrix} 1100 A.$$

Ток срабатывания реле

$$I_{с.р.} = \frac{k_{с.х.}^{(3)} \cdot I_{с.з. МТЗ 3}}{k_{ТТ}} = \frac{1 \cdot 1100}{\frac{600}{5}} = 9,15 [A]$$

Далее вычисляем k_q защиты при ее действии в качестве основной при К.З. на шинах

III:

$$k_{ч. осн}^{(2)} = \frac{I_{к.з. III}^{(2)}}{I_{с.з. МТЗ 3}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8400}{1100} = 6,61 > 1,5.$$

И, в завершении, вычисляем k_q защиты при ее действии в качестве резервной при К.З на шинах IV:

$$k_{ч. рез}^{(2)} = \frac{I_{к.з. IV}^{(2)}}{I_{с.з. МТЗ 3}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4300}{1100} = 3,36 > 1,2.$$

Как видим, коэффициент чувствительности МТЗ 3 удовлетворяет требованиям ПУЭ,

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Степень селективности вычисляем согласно [5.2], учитывая, что при уставке реле РТ-85/1 $t_y = 0,5C$ погрешность $\Delta t_{p.MT32} = \pm 0,1C$:

$$\begin{aligned}\Delta t &= \Delta t_{p.MT32} + \Delta t_{p.MT33} + t_{O.B.} + t_{И.О.} + t_{зан.} = \\ &= 0,1 + 0,15 + 0,1 + 0,15 + 0,1 = 0,6[C].\end{aligned}$$

Для обеспечения селективности при любых значениях тока принимаем $t_{зан.} = 0,6C$ в независимой части характеристики. При этом уставка реле составит

$$t_{y.MT33} = t_{y.MT32} + \Delta t_{зан.} = 0,5 + 0,6 = 1,1[C]$$

Определяем уставки МТЗ 4

Аналогично МТЗ 3 определяем ток срабатывания защиты

$$t_{с.з.MT34} = 4 \cdot I_{дл.дон} = 4 \cdot 355 = 1420[A].$$

Ток срабатывания МТЗ 4 в результате согласования ее с МТЗ 3:

$$I_{с.з.MT34} = k_{н.с.} \cdot I_{с.з.MT33} = 1,3 \cdot 1100 = 1430[A]$$

$$1420A \xrightarrow{\quad} 1430A$$

$$\xleftarrow{\quad}$$

Ток срабатывания реле

$$I_{с.р.} = \frac{1420}{\frac{800}{5}} = 8,87[A]$$

$$k_{ч.осн.} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{10500}{1420} = 6,40;$$

$$k_{ч.рез.} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{8400}{1420} = 5,12;$$

$$\Delta t_{зан.} = 0,15 + 0,15 + 0,1 + 0,15 + 0,1 = 0,65[C];$$

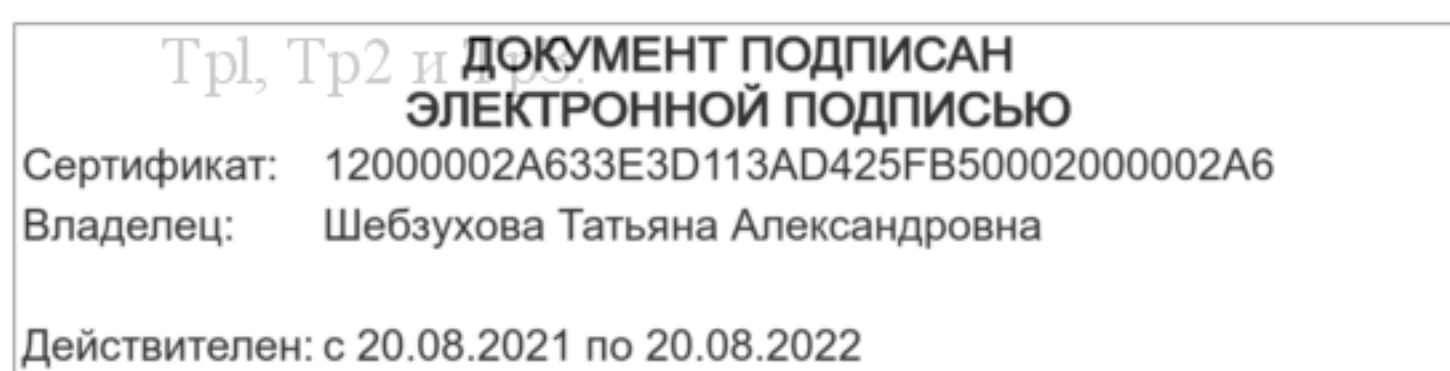
Установка выдержки времени в независимой части характеристики МТЗ4

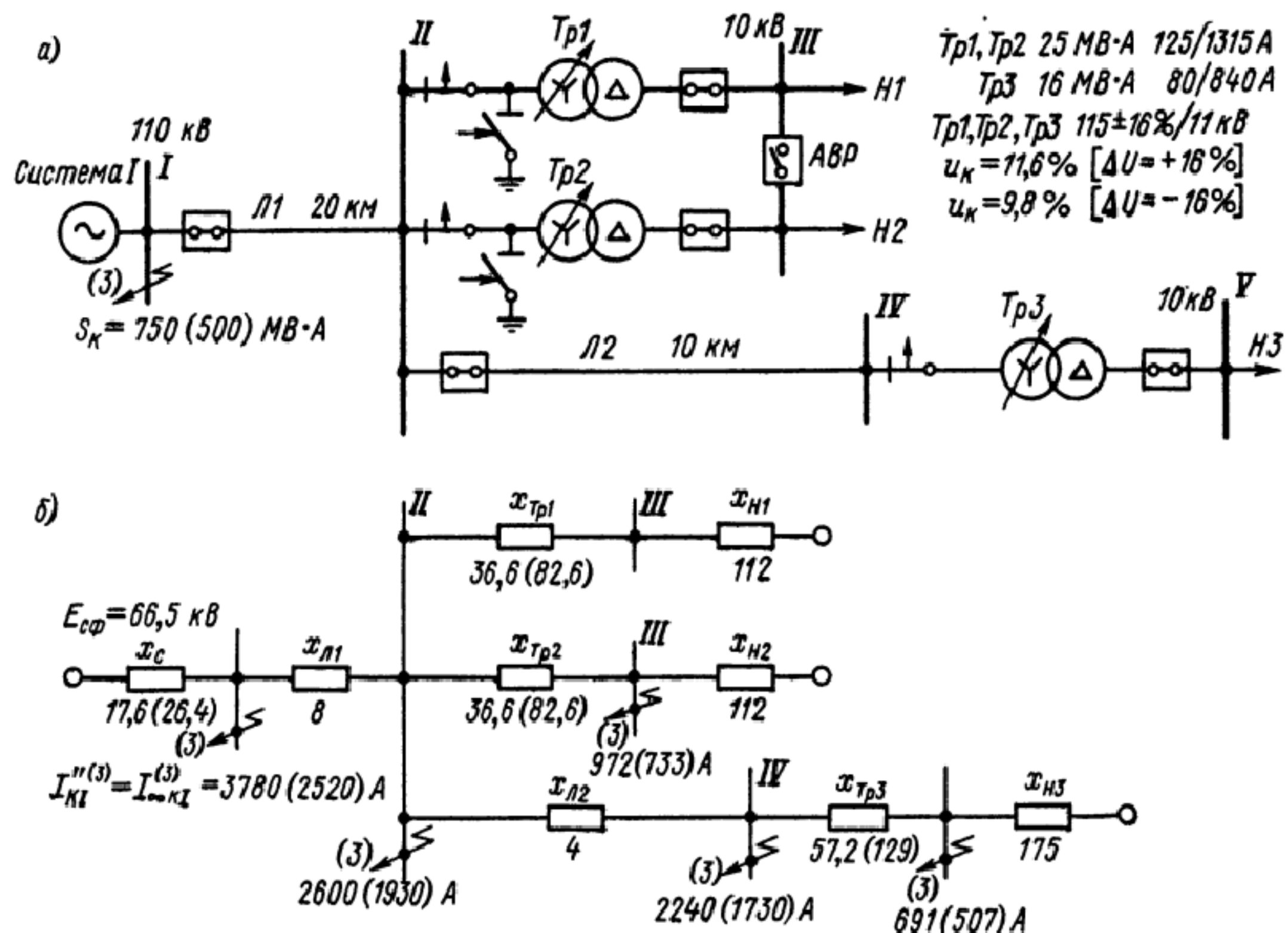
$$t_{y.MT34} = t_{y.MT33} + \Delta t_{зан.} = 1,1 + 0,65 = 1,75[C]$$

Задания:

Задание №1

В данном примере рассмотрим защиту линий 110 кВ Л1 и Л2 (рис. 4-11), по которой осуществляется питание двух подстанций. Для схемы, показанной на рис. а, известны мощности трехфазного к. з. К(3) на шинах /, длины линий Л1 и Л2 и данные трансформаторов



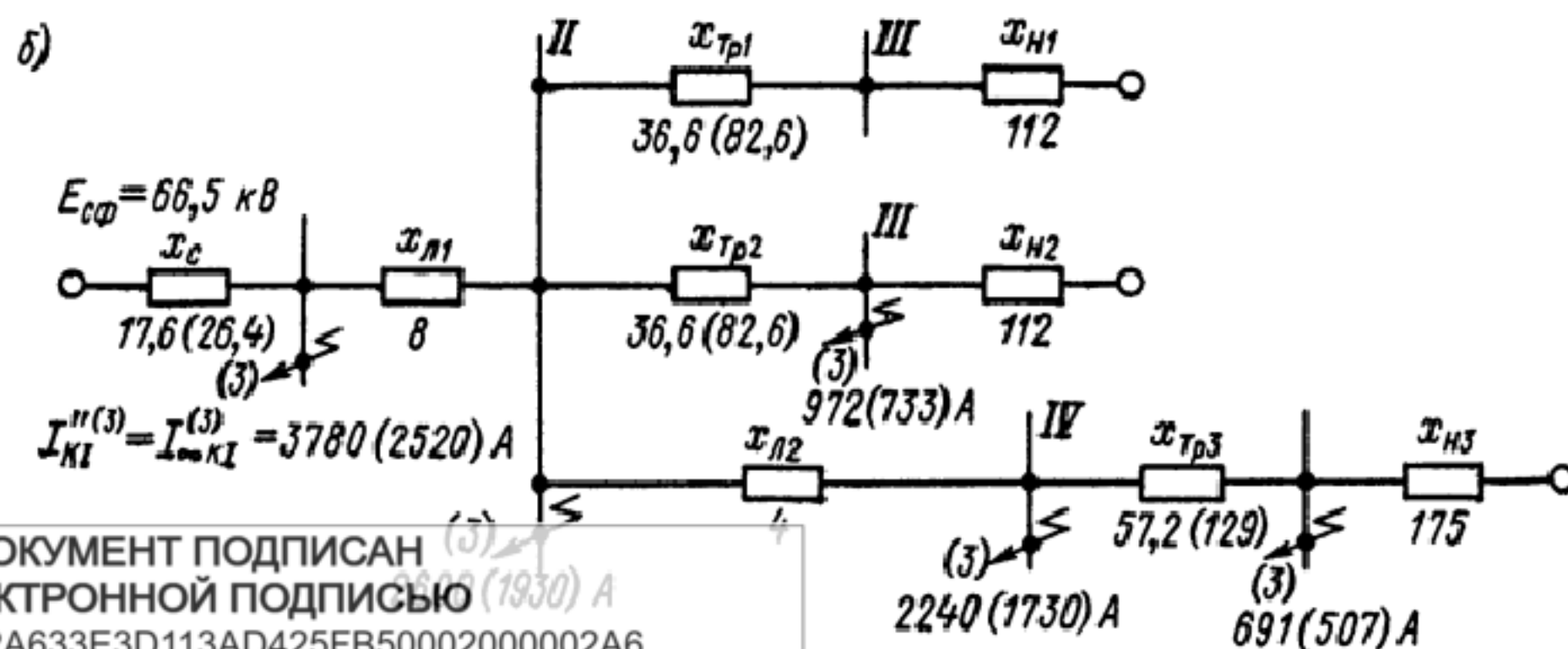


Задание №2

Для линии 220 кВ I—II, приведенной на рис. 4-14, а, и по данным расчета фазной отсечки линии II—III, определить уставки отсечки / с выдержкой времени и зоны ее действия.

Задание №3

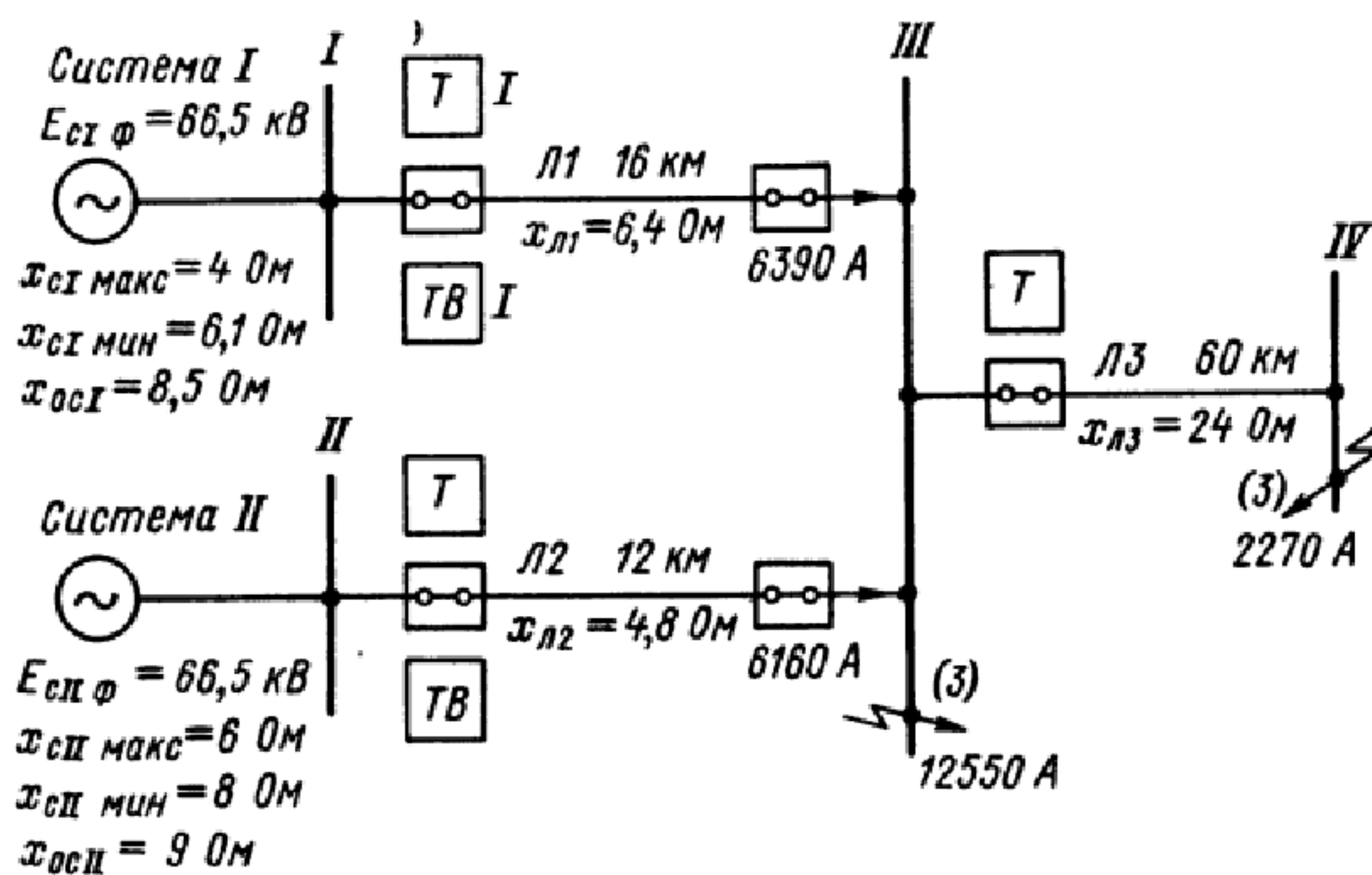
Для линии 330 кВ с двусторонним питанием, вычислить токи срабатывания и зоны действия максимальных фазных отсечек I к II без выдержки времени, установленных на обоих концах I и II. При расчете токов срабатывания учесть, что в любой точке к. з. на землю на линии полные токи в поврежденных фазах с обеих сторон линии меньше токов при трехфазных к. з. на линии.



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

Задание №4

Для линии Л1 и линии Л3 по данным, приведенным на рис., вычислить токи срабатывания максимальных фазных отсечек без выдержки времени и для линии Л1 с выдержкой времени и аналитическим методом определить зоны их действия. Для одного случая к. з. выполнить расчет графо-аналитическим методом.



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	

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».
2. Методические рекомендации для подготовки к лабораторным работам по дисциплине «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».
3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

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 организации самостоятельной работы обучающихся
по дисциплине «РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Содержание

- Введение
- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем»
 - 2 План-график выполнения самостоятельной работы
 - 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
 - 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
 - 5 Методические указания по подготовке к экзамену.
 - 6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

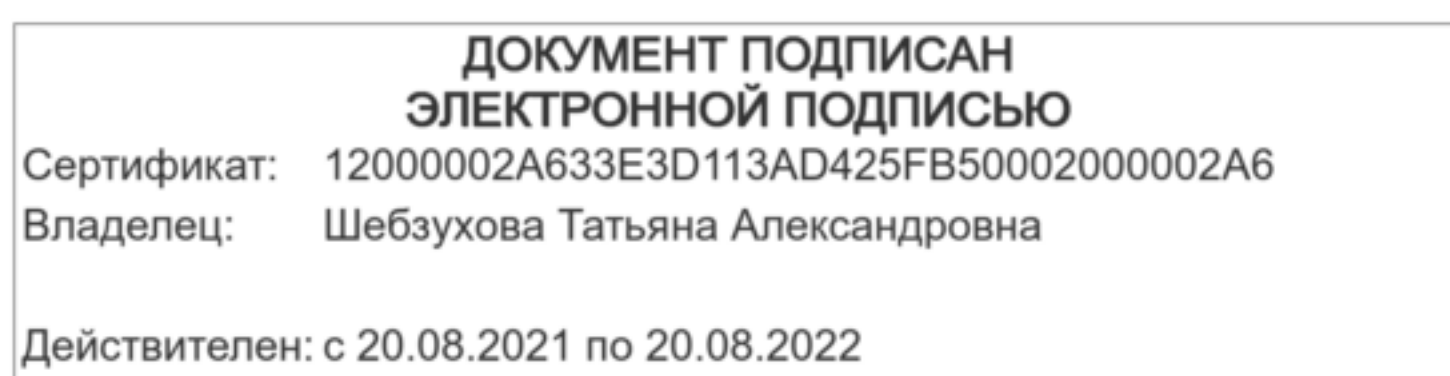
Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.



Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;

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

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

Цель самостоятельного решения задач - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

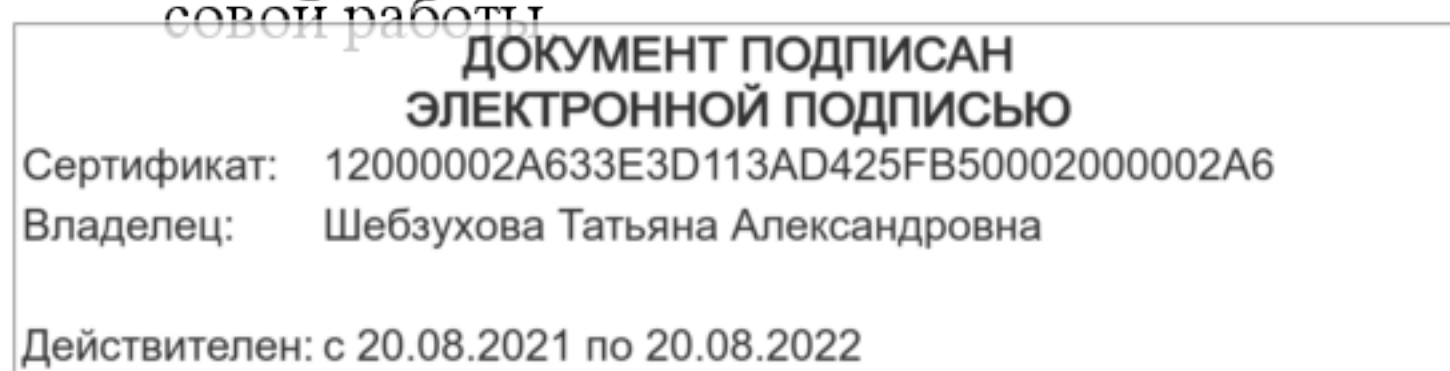
Задачами самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.



В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения.	ИД-2 _{ПК-1} Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения.	Знает основы релейной защиты и автоматики линий электропередач, трансформаторов, двигателей. Умеет сопоставлять и анализировать особенности функционирования существующих схем релейной защиты и автоматики. Владеет навыками составления схем для защиты от аварийных режимов трансформаторов, двигателей, линий электропередач.
ПК-2 Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения.	ИД-1 _{ПК-2} Рассчитывает параметры электрооборудования систем электроснабжения.	Знает принципы действия современных устройств релейной защиты и автоматики, современную элементную базу релейной защиты и автоматики.
	ИД-2 _{ПК-2} Рассчитывает режимы работы систем электроснабжения.	Умеет проводить усовершенствование существующих схем релейной защиты и автоматики, проверять и настраивать основные типы релейных защит.
	ИД-3 _{ПК-2} Обеспечивает заданные параметры режима систем электроснабжения.	Владеет навыками расчёт установок релейной защиты.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

План-график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
6 семестр					
ПК-1 ИД-2 _{ПК-1} ПК-2 ИД-1 _{ПК-2} ИД-2 _{ПК-2} ИД-3 _{ПК-2}	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18	Собеседование	85,995	9,555	95,55
	Подготовка к лекциям	Собеседование	0,405	0,045	0,45
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач	0,54	0,06	0,6
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	0,81	0,09	0,9
Итого за 6 семестр:			87,75	9,75	97,5
7 семестр					
ПК-1 ИД-2 _{ПК-1} ПК-2 ИД-1 _{ПК-2} ИД-2 _{ПК-2} ИД-3 _{ПК-2}	Самостоятельное изучение литературы по темам №19-27	Собеседование	60,345	6,705	67,05
	Подготовка к лекциям	Собеседование	0,27	0,03	0,3
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	0,81	0,09	0,9
Итого за 7 семестр:			61,425	6,825	68,25
Итого:			149,25	16,575	165,75

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Контрольные точки и виды отчетности по ним

Рейтинговая система успеваемости студентов не предусмотрена для заочной формы обучения.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

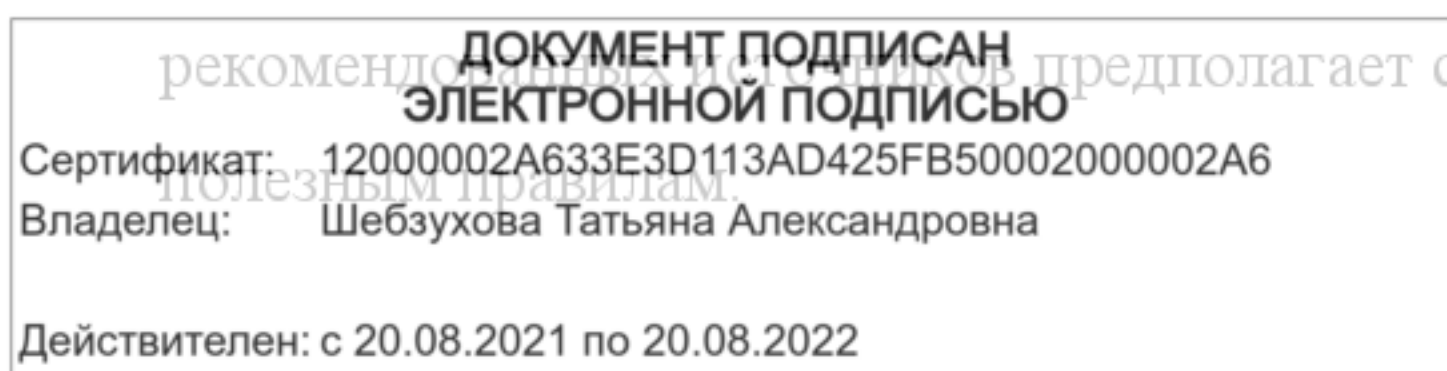
Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение

рекомендованной литературы предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.



Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

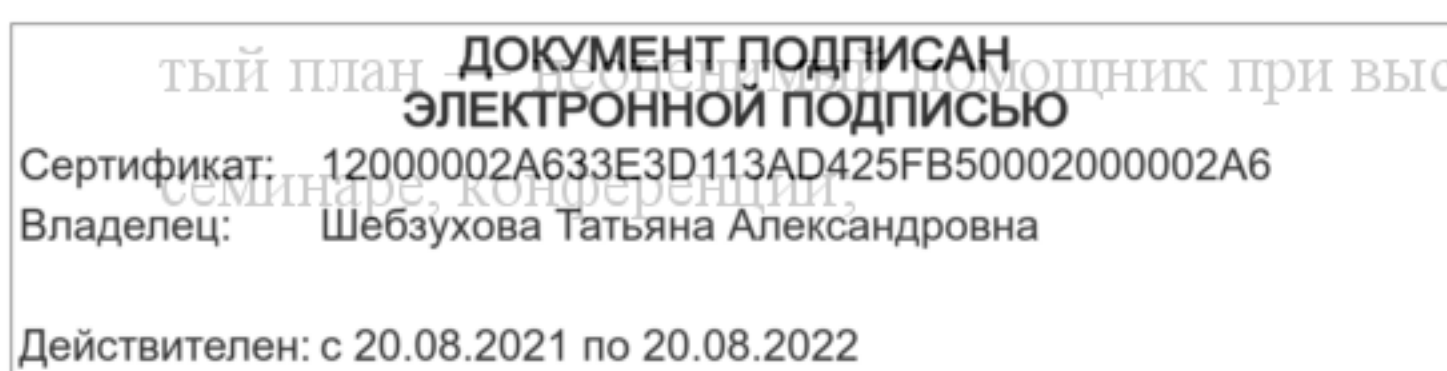
Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Разверну-

тый план — это документ, который используется при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции.



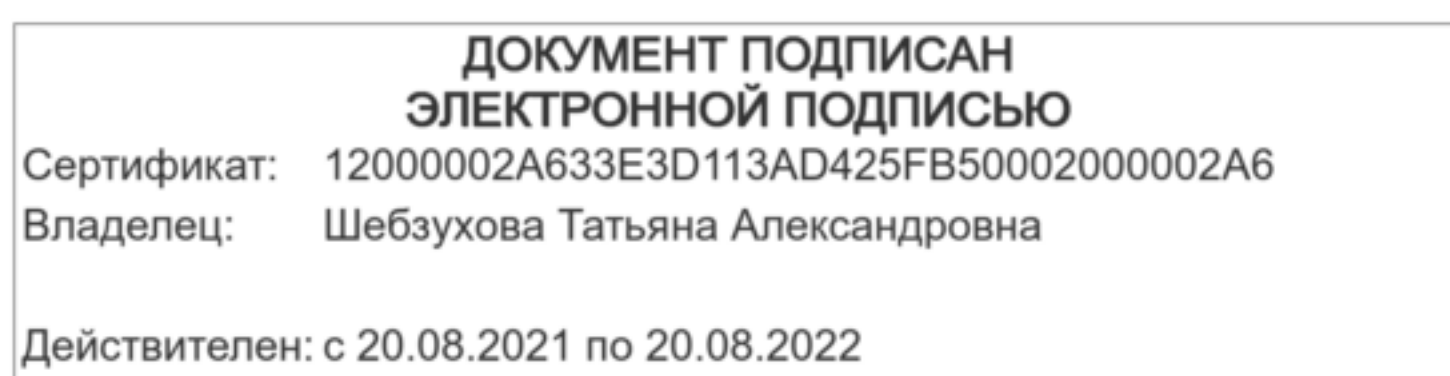
— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.



Методические указания по подготовке к экзамену

Изучение дисциплины «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На экзамене студент демонстрирует то, что он приобрел в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

На консультации перед экзаменом студентов познакомят с основными требованиями, ответят на возникшие у них вопросы. Поэтому посещение консультаций обязательно.

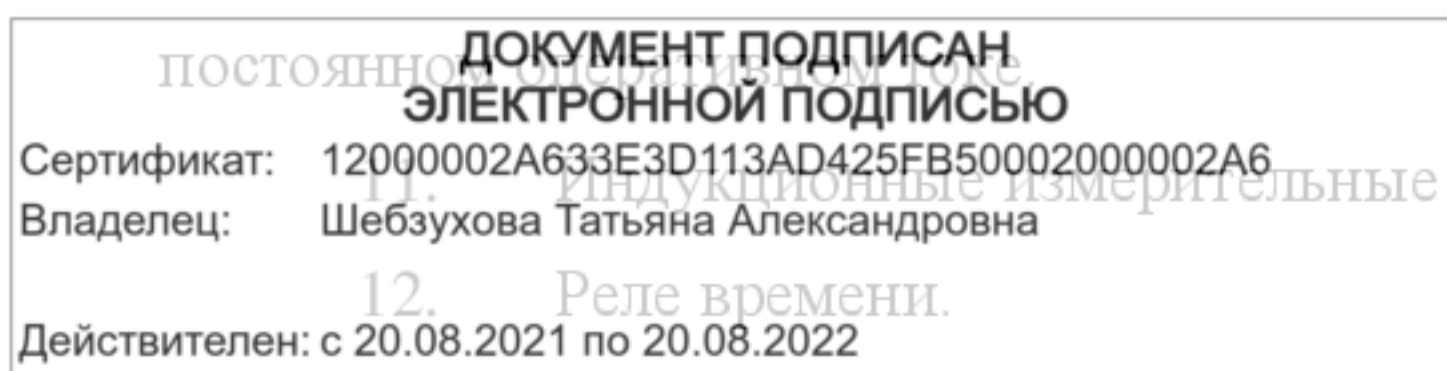
При подготовке к экзамену необходимо использовать конспекты лекций по дисциплине, учебники и учебные пособия (из списка основной и дополнительной литературы) или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра.

Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

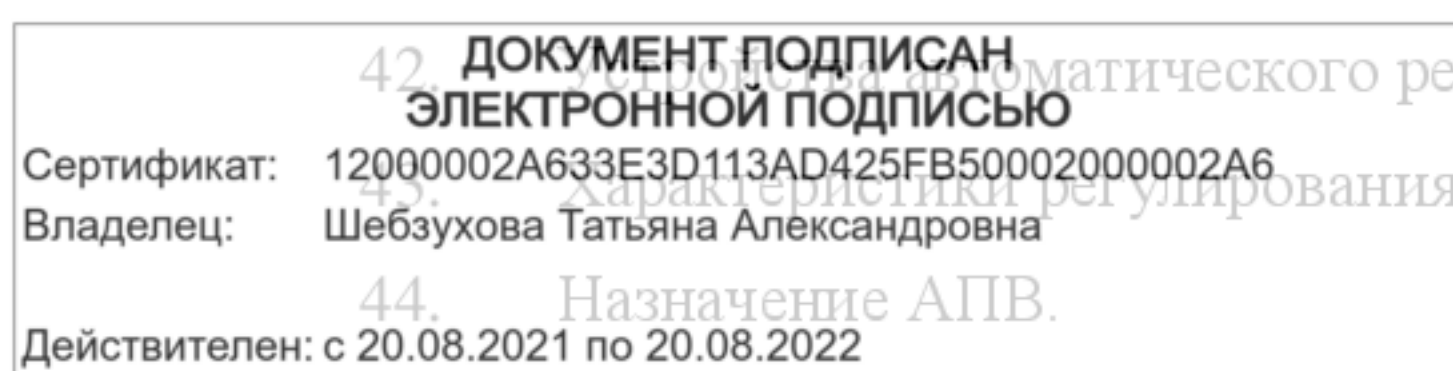
Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний.

Вопросы к экзамену

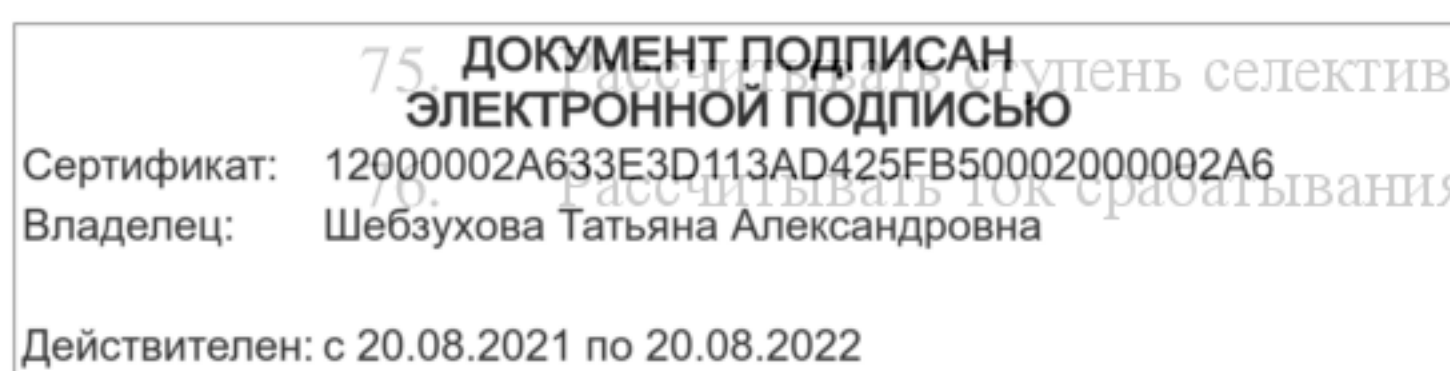
1. Назначение РЗ.
2. Характеристики токов и напряжений в ненормальных и аварийных режимах распределительных ЭС и основных электроприёмников.
3. Виды КЗ и их векторные диаграммы.
4. Симметричные КЗ в сверхпереходном и установившемся режимах.
5. Электромеханические реле и устройства РЗ.
6. Трансформаторы тока.
7. Схемы соединения трансформаторов тока и реле.
8. Трансформаторы напряжения.
9. Схемы соединения трансформаторов напряжения и реле.
10. Вторичные реле прямого действия. Вторичные реле косвенного действия на



13. Промежуточные реле.
14. Указательные реле.
15. Реакторы и трансреакторы.
16. Магнитные усилители и насыщающиеся трансформаторы тока.
17. Системы, схемы и устройства оперативного тока.
18. Принципы построения и основные типы релейных защит.
19. Принцип построения максимальной токовой защиты.
20. Принцип построения токовой отсечки.
21. Принцип построения максимальной направленной токовой защиты.
22. Защиту предохранителями и автоматическими воздушными выключателями.
23. Защиту воздушных и кабельных ЛЭП.
24. Принцип построения дифференциальной токовой защиты.
25. Продольную дифференциальную защиту линий и её особенности.
26. Поперечную дифференциальную токовую защиту.
27. Принцип действия, виды и характеристики дистанционной защиты.
28. Назначение и основные виды защиты трансформаторов.
29. Газовую защиту трансформаторов.
30. Виды повреждений электродвигателей и виды их защит.
31. Фазоповоротные и частотно-зависимые схемы.
32. Фильтры симметричных составляющих тока и напряжения.
33. Измерительные реле на основе полупроводниковой неинтегральной элементной базы.
34. Измерительные реле на основе полупроводниковой интегральной элементной базы.
35. Измерительные реле на основе микропроцессорной элементной базы.
36. Управляемые предохранители.
37. Способы повышения чувствительности дифференциальной защиты.
38. Дистанционная защита на направленном реле полного сопротивления с эллиптическими характеристиками.
39. Каскадное действие направленных токовых защит.
40. Характеристики аппаратов резервного электрооборудования.
41. Устройства автоматического управления.

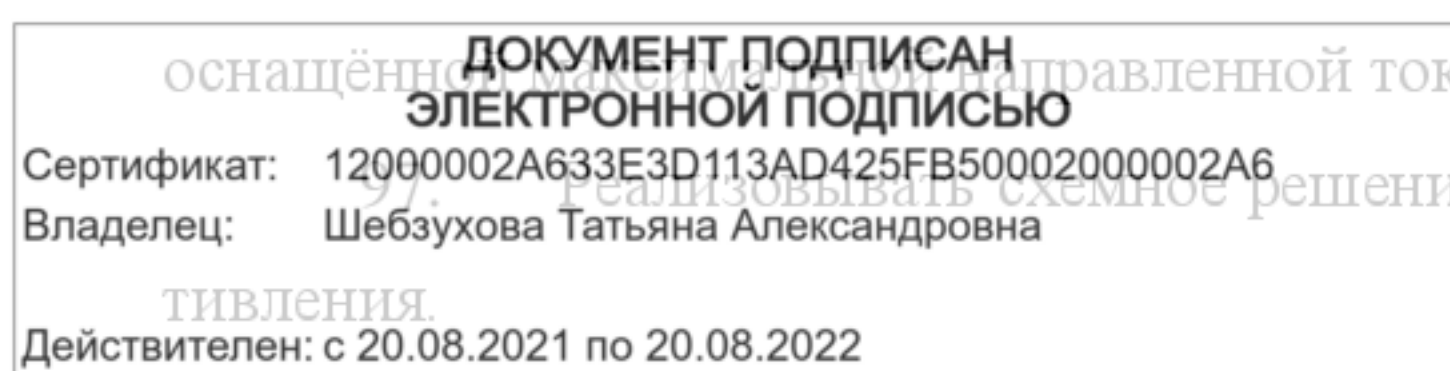


45. Классификацию устройств АПВ.
46. Основные требования к схемам АПВ.
47. Устройства АПВ однократно действия.
48. Особенности выполнения схем АПВ на телемеханизированных подстанциях.
49. Особенности выполнения схем АПВ на воздушных выключателях.
50. Принцип выполнения схем АПВ на переменном токе.
51. Схему двукратного АПВ для масляных выключателей.
52. Несинхронное АПВ.
53. Быстродействующее АПВ.
54. АПВ с ожиданием синхронизма.
55. Назначение АВР.
56. Основные требования к схемам АВР.
57. Автоматическое включение резерва на подстанциях.
58. Автоматическое включение резервных трансформаторов на подстанциях.
59. Автоматическое регулирование напряжения в электрических сетях.
60. Автоматическое регулирование напряжения трансформаторов.
61. Принцип ускорения защиты после АПВ.
62. Принцип ускорения защиты до АПВ.
63. Сетевые АВР.
64. Автоматическое включение синхронных генераторов на параллельную работу.
65. Автоматическое регулирование напряжения на шинах подстанции.
66. Принципы автоматического регулирования частоты в энергосистеме.
67. Принципы автоматического регулирования перетоков мощности.
68. Основы диспетчерского управления.
69. Принципы автоматической частотной разгрузки.
70. Назначение и классификацию устройств противоаварийной автоматики.
71. Производить расчёты токов КЗ в сверхпереходном и установившемся режимах.
72. Определять погрешности трансформаторов тока и напряжения.
73. Определять ток срабатывания максимальных токовых защит.
74. Определять зону действия и ток срабатывания токовых отсечек.



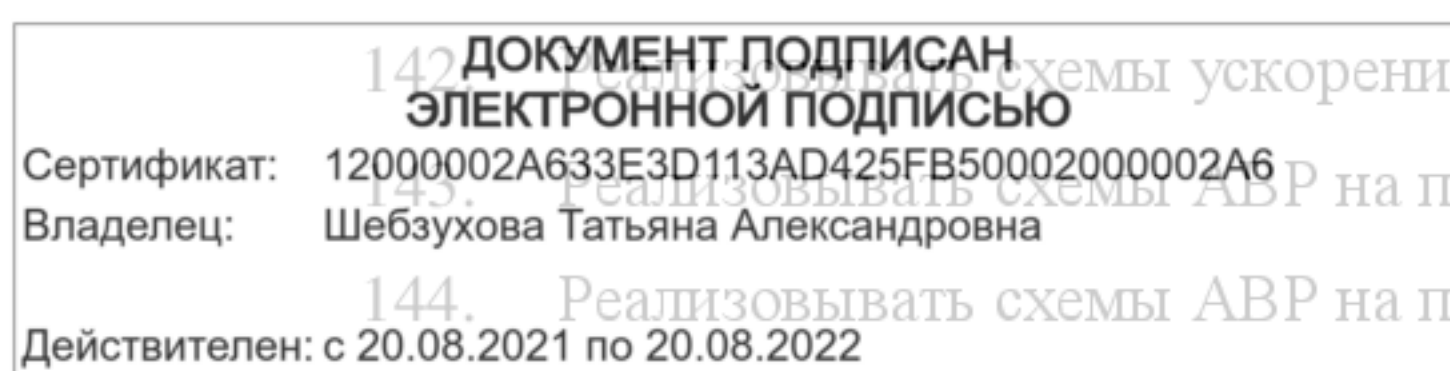
75. Определять степень селективности максимальной токовой защиты.
 76. Рассчитывать ток срабатывания плавкой вставки предохранителя.

77. Рассчитывать ток срабатывания расцепителя автоматического воздушного выключателя.
78. Определять уставку теплового реле тепловой защиты электродвигателя.
79. Выбирать аппараты защиты по рассчитанным параметрам.
80. Выбирать аппараты защиты исходя из технической и экономической целесообразности.
81. Выбирать трансформаторы тока в зависимости от рассчитанных токов КЗ.
82. Выбирать и реализовывать схемы и устройства оперативного тока в зависимости от применяемых типов и органов РЗ.
83. Выбирать способы зарядки аккумуляторов и конденсаторов системы оперативного тока.
84. Согласовывать характеристики максимальных токовых защит с ограниченно зависимой выдержкой времени в системе координат: ток - время.
85. Определять степень селективности максимальных токовых защит.
86. Согласовывать характеристики максимальных токовых защит с токовыми отсечками.
87. Рассчитывать токи небаланса дифференциальной токовой защиты.
88. Реализовывать схемное решение продольной дифференциальной защиты линии.
89. Реализовывать схемное решение поперечной дифференциальной защиты линии.
90. Реализовывать схемы дистанционной защиты.
91. Определять зону действия максимальных направленных токовых защит.
92. Определять токи небаланса дифференциальной токовой защиты трансформатора.
93. Строить и анализировать векторные диаграммы всех видов КЗ и ненормальных режимов.
94. Применять и реализовывать автоматизированное управление схем питания потребителей и электроприёмников.
95. Согласовывать характеристики максимальных токовых защит с независимой и зависимой выдержкой времени в системе координат: ток - время.
96. Составлять алгоритм селективности действия релейной защиты электросети,



98. Реализовывать схемное решение дистанционной защиты с одним реле сопротивления.
99. Рассчитывать и строить дифференциальную защиту трансформатора.
100. Реализовывать схемное решение дифференциальной защиты трансформатора.
101. Производить расчёты токов КЗ в сверхпереходном и установившемся режимах.
102. Определять погрешности трансформаторов тока и напряжения.
103. Определять ток срабатывания максимальных токовых защит.
104. Определять зону действия и ток срабатывания токовых отсеков.
105. Рассчитывать степень селективности максимальной токовой защиты.
106. Рассчитывать ток срабатывания плавкой вставки предохранителя.
107. Рассчитывать ток срабатывания расцепителя автоматического воздушного выключателя.
108. Определять уставку теплового реле тепловой защиты электродвигателя.
109. Выбирать аппараты защиты по рассчитанным параметрам.
110. Выбирать аппараты защиты исходя из технической и экономической целесообразности.
111. Выбирать трансформаторы тока в зависимости от рассчитанных токов КЗ.
112. Выбирать и реализовывать схемы и устройства оперативного тока в зависимости от применяемых типов и органов РЗ.
113. Выбирать способы зарядки аккумуляторов и конденсаторов системы оперативного тока.
114. Согласовывать характеристики максимальных токовых защит с ограниченно зависимой выдержкой времени в системе координат: ток - время.
115. Определять степень селективности максимальных токовых защит.
116. Согласовывать характеристики максимальных токовых защит с токовыми отсечками.
117. Рассчитывать токи небаланса дифференциальной токовой защиты.
118. Реализовывать схемное решение продольной дифференциальной защиты линии.
119. Реализовывать схемное решение поперечной дифференциальной защиты ли-

121. Выбирать методы и характеристики автоматического регулирования параметров энергосистемы.
122. Рассчитывать статические и динамические коэффициенты регулирования.
123. Анализировать работу схемы АПВ однократного действия.
124. Анализировать работу схемы двукратного АПВ для масляных выключателей.
125. Выбирать принципы осуществления АВР при разных схемах питания потребителей.
126. Рассчитывать уставки АВР.
127. Анализировать схемы АВР различного назначения.
128. Анализировать схемы устройств автоматического включения генераторов на параллельную работу.
129. Выбирать способы регулирования частоты в энергосистеме.
130. Анализировать работу схем автоматической частотной разгрузки.
131. Определять зону действия максимальных направленных токовых защит.
132. Определять токи небаланса дифференциальной токовой защиты трансформатора.
133. Строить и анализировать векторные диаграммы всех видов КЗ и ненормальных режимов.
134. Применять и реализовывать автоматизированное управление схем питания потребителей и электроприёмников.
135. Согласовывать характеристики максимальных токовых защит с независимой и зависимой выдержкой времени в системе координат: ток - время.
136. Составлять алгоритм селективности действия релейной защиты электросети, оснащённой максимальной направленной токовой защитой.
137. Реализовывать схемное решение дистанционной защиты с тремя реле сопротивления.
138. Реализовывать схемное решение дистанционной защиты с одним реле сопротивления.
139. Рассчитывать и строить дифференциальную защиту трансформатора.
140. Реализовывать схемное решение дифференциальной защиты трансформатора.
141. Реализовывать схемы ускорения защиты после АПВ.



142. Реализовывать схемы ускорения защиты до АПВ.

143. Реализовывать схемы АВР на постоянном оперативном токе.

144. Реализовывать схемы АВР на переменном оперативном токе.

145. Применять и реализовывать автоматизированное управление схем питания потребителей и электроприёмников.

146. Реализовывать схемы автоматического включения резерва линий и отдельных энергообъектов.

147. Составлять и формулировать требования к устройствам противоаварийной автоматики.

148. Составлять алгоритм автоматической частотной разгрузки.

149. Реализовывать схему автоматического ограничение снижения напряжения включением устройства продольной емкостной компенсации линии электропередачи.

150. Реализовывать схему автоматического ограничения повышения напряжения включением шунтирующего реактора на конце линии электропередачи.

151. Навыками автоматизированного управления состоянием схем питания потребителей и электроприёмников.

152. Навыками регулирования частоты в энергосистеме

153. Навыками введения уставок в микропроцессорные и компьютерные устройства и органы систем автоматики.

154. Навыками работы с испытательными установками для проверки простых защит.

155. Навыками работы с испытательными установками для проверки сложных защит.

156. Навыками сбора оперативной информации о работе электроэнергетических систем.

157. Навыками оперативных переключений в системах автоматики.

158. Навыками применения устройств автоматического управления и регулирования.

159. Навыками выбора устройств автоматики.

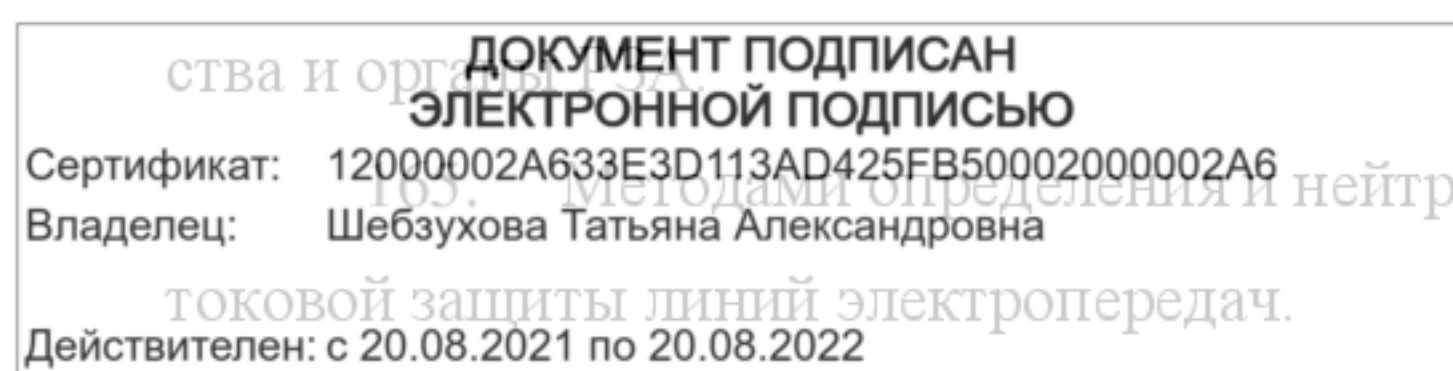
160. Навыками диспетчерского управления.

161. Автоматизированным управлением состояниями схем питания потребителей и электроприёмников.

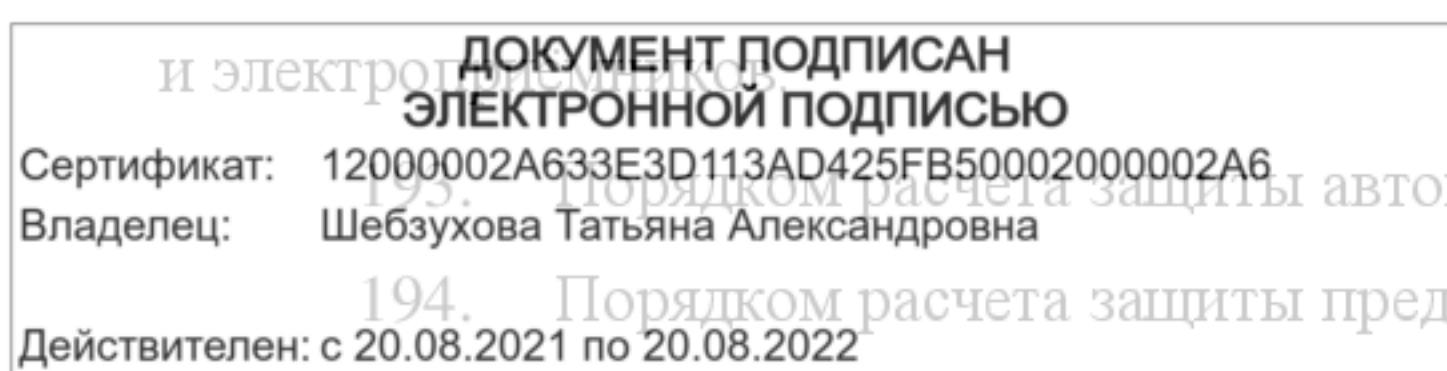
162. Порядком расчета защиты автоматическими выключателями.

163. Порядком расчета защиты предохранителями.

164. Навыками введения уставок в микропроцессорные и компьютерные устрой-



166. Навыками определения места КЗ с помощью органов дистанционной защиты.
167. Способами защиты асинхронных электродвигателей от перегрузки и неполнофазного режима.
168. Способами защиты синхронных электродвигателей от несинхронной работы.
169. Методами включения синхронных генераторов в параллельную работу.
170. Навыками диспетчерского управления
171. Методом выбора параметров аппаратов.
172. Схемными решениями максимальных токовых защит.
173. Принципами размещения максимальных токовых защит.
174. Принципами размещения токовых отсечек.
175. Схемными решениями токовых отсечек.
176. Принципами размещения максимальных направленных токовых защит.
177. Схемными решениями максимальных направленных токовых защит.
178. Методами расчёта токов короткого замыкания на всех участках радиальной линии электропередачи.
179. Методами защиты воздушных и кабельных ЛЭП.
180. Методами составления схем замещения участков электросети.
181. Навыками введения уставок в реле тока.
182. Навыками введения уставок в реле напряжения.
183. Навыками введения уставок в реле времени.
184. Навыками выбора трансформаторов тока для защиты линий электропередач.
185. Методами определения селективности действия токовой отсечки линий с односторонним и двухсторонним питанием.
186. Способами построения дифференциальной защиты линий электропередач.
187. Навыками сборки схем дифференциальной токовой защиты.
188. Способами дифференциальной защиты трансформаторов от короткого замыкания.
189. Способами защиты трансформаторов от длительной перегрузки.
190. Способами применения газовой защиты трансформаторов.
191. Методикой определения времени автоматического возврата схемы АПВ в исходное положение.
192. Автоматизированным управлением состояниями схем питания потребителей



193. Порядком расчёта защиты автоматическими выключателями.

194. Порядком расчёта защиты предохранителями.

195. Навыками введения уставок в микропроцессорные и компьютерные устройства и органы РЗА.
196. Методами определения и нейтрализации токов небаланса дифференциальной токовой защиты линий электропередач.
197. Навыками определения места КЗ с помощью органов дистанционной защиты.
198. Способами защиты асинхронных электродвигателей от перегрузки и неполнофазного режима.
199. Способами защиты синхронных электродвигателей от несинхронной работы.
200. Методами включения синхронных генераторов в параллельную работу.
201. Навыками диспетчерского управления.
202. Схемными решениями максимальных токовых защит.
203. Принципами размещения максимальных токовых защит.
204. Принципами размещения токовых отсеков.
205. Схемными решениями токовых отсеков.
206. Принципами размещения максимальных направленных токовых защит.
207. Схемными решениями максимальных направленных токовых защит.
208. Методами расчёта токов короткого замыкания на всех участках радиальной линии электропередачи.
209. Методами защиты воздушных и кабельных ЛЭП.
210. Методами составления схем замещения участков электросети.
211. Навыками введения уставок в реле тока.
212. Навыками введения уставок в реле напряжения.
213. Навыками введения уставок в реле времени.
214. Навыками выбора трансформаторов тока для защиты линий электропередач.
215. Методами определения селективности действия токовой отсечки линий с односторонним и двухсторонним питанием.
216. Способами построения дифференциальной защиты линий электропередач.
217. Навыками сборки схем дифференциальной токовой защиты.
218. Способами дифференциальной защиты трансформаторов от короткого замыкания.
219. Способами защиты трансформаторов от длительной перегрузки.
220. Способами применения газовой защиты трансформаторов.

221. Методами выбора параметров аппаратов.

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

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

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>

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	

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».
2. Методические рекомендации для подготовки к лабораторным работам по дисциплине «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».
3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

