



Министерство образования и науки Самарской области  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
Самарской области  
«САМАРСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»  
(ГБПОУ «СЭК»)

О.Н. Спирина

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ СЕТЕЙ И СИСТЕМ**

Методические указания к лабораторно-практическим занятиям  
для студентов  
специальности 13.02.03. Электрические станции, сети и системы

ПМ.02 Эксплуатация электрооборудования электрических станций,  
сетей и систем

МДК. 02.02 Релейная защита электрооборудования электрических  
станций, сетей и систем

Самара 2018

Методические указания к лабораторно-практическим занятиям МДК 02.02. *Релейная защита электрооборудования электрических станций сетей и систем* для студентов специальности 13.02.03 / сост: О.Н. Спирина, – Самара: ГБПОУ «СЭК», 2018 – 43 с.

Издание содержит методические указания к выполнению лабораторно-практических работ. Соответствует Федеральным государственным образовательным стандартам среднего профессионального образования специальности 13.02.03 Электрические станции, сети и системы

Рассмотрено и рекомендовано к изданию методическим советом ГБПОУ «СЭК» (протокол № 4 от 15.03.2018 г.)

Рецензенты:

Волков А.П. – преподаватель ГБПОУ «Самарский энергетический колледж»

Путько В.Ф. – д.т.н., профессор, председатель Саморегулируемой организации «Ассоциация энергоаудиторов и энергосервисных компаний Самарской области»

Замечания, предложения и пожелания направлять в ГБПОУ «Самарский энергетический колледж» по адресу: 443001, г. Самара, ул. Самарская 205-А.

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания по выполнению лабораторно-практических работ МДК 02.02 *Релейная защита электрооборудования электрических станций сетей и систем* предназначены для студентов и преподавателей специальности 13.02.03 *Электрические станции, сети и системы*.

Комплекс лабораторно-практических работ разработан в соответствии с программой профессионального модуля ПМ.02 *Эксплуатация электрооборудования электрических станций, сетей и систем* и включает в себя часть лабораторных и практических работ второго раздела *Настройка устройств релейной защиты электрооборудования электрических станций, сетей и систем*. Содержание методических указаний соответствует федеральным государственным образовательным стандартам среднего профессионального образования специальности 13.02.03.

**Цель методической разработки:** самостоятельная работа студентов при подготовке к лабораторному и практическому занятию; работа на уроке по закреплению полученных теоретических знаний, приобретению практических навыков и умений.

Для повышения эффективности выполнения лабораторно-практических работ и активного участия в них каждый студент должен заранее готовиться к очередной работе. Подготовка к работе складывается из освоения теоретического материала, относящегося к работе, изучения цели и содержания лабораторной и практической работы. Результаты подготовки отражаются студентом в заранее подготовленном отчете по лабораторно-практическим работам, куда записываются: название работы, цель, материально-техническое оснащение, план выполнения лабораторной или практической работы, расчетные формулы, зарисовываются электрические схемы и таблицы для записи опытных и расчетных данных.

Все записи и рисунки в отчете, как при подготовке к работе, так и в процессе ее выполнения, должны вестись аккуратно с выполнением действующих ГОСТ и ЕСКД.

Лабораторные работы выполняются по подгруппам, состав которых определяет преподаватель. Практические работы выполняются на занятиях для всей группы.

В начале лабораторно-практического занятия преподаватель проверяет подготовленность каждого студента (путем опроса или другого вида контроля и ознакомления с записями в рабочей тетради).

***Студенты, неподготовленные к занятию, к выполнению лабораторной работы не допускаются.***

Небрежно оформленные отчеты не принимаются.

Отчеты по работам хранятся в кабинете преподавателя или на кафедре в течение учебного года.

## Уважаемый студент!

Методические указания созданы в помощь Вам для подготовки к лабораторно-практическим занятиям.

### Правила выполнения лабораторно-практических занятий

1. Вы должны прийти на практическое занятие подготовленным.
2. После выполнения работы Вы должны представить отчет с анализом полученных результатов и выводом.
3. Таблицы и рисунки следует выполнять с помощью чертежных инструментов (линейки, циркуля и т.д.) карандашом с соблюдением требований ЕСКД.
4. В заголовках граф таблиц обязательно приводить буквенные обозначения величин и единицы измерения в соответствии с ЕСКД.
5. Расчет следует проводить с точностью до двух значащих цифр.
6. Оценку по лабораторно-практическому занятию Вы получаете с учетом срока выполнения работы, если:
  - задание выполнено правильно и в полном объеме;
  - сделан анализ проделанной работы и вывод по результатам работы;
  - Вы можете пояснить выполнение любого этапа работы;
  - отчет выполнен в соответствии с требованиями.

**Внимание!** Если в процессе подготовки к практическим занятиям или при их выполнении у Вас возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения разъяснений.

**Желаем Вам успехов!!!**

## ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Название лабораторно-практических занятий
1	Практическое занятие 1. Изучение конструкции и принципа действия электромагнитных реле. Их опробование
2	Лабораторное занятие 1. Исследование индукционного реле тока
3	Лабораторное занятие 2. Исследование схем соединения трансформаторов тока
4	Лабораторное занятие 3. Снятие вольт-амперных характеристик трансформаторов тока
5	Практическое занятие 2. Расчёт уставок максимальной токовой защиты
6	Практическое занятие 3. Расчёт ступенчатой токовой защиты от междуфазных КЗ на линии с односторонним питанием
7	Практическое занятие 4. Расчёт уставок дифференциальной токовой защиты силового трансформатора
8	Лабораторное занятие 4. Изучение схемы защиты электродвигателя. Расчёт уставок защиты от перегрузки

## Практическое занятие 1

### ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ. ИХ ОПРОБОВАНИЕ

#### Цель работы:

- изучить конструкции токовых реле прямого и косвенного действия;
- ознакомиться со схемами внутренних соединений и способами включения реле;
- изучить принцип действия электромагнитных реле.

**Материально-техническое оснащение:** лабораторный стенд № 1, электромагнитные реле РТ-40, РН-50, РВ-247, РП-252, РУ-21.

#### Теоретические сведения:

Реле представляют собой автоматический аппарат, контролирующий значение какой-либо физической величины, например тока, сопротивления, напряжения, мощности. Эти величины называются *управляющими*. При достижении управляющей величины заданного значения реле скачкообразно изменяет управляемую величину, например, замыкает или размыкает контакты управляемой электрической цепи. Реле является усилителем мощности, так как мощность, коммутируемая контактами, во много раз превосходит мощность, необходимую для срабатывания реле. Наиболее распространенной группой реле являются электромеханические.

Принципиальная схема включения *вторичного реле максимального тока прямого действия* приведена на рис. 1. Обмотка реле 1, подключенная к вторичной обмотке трансформатора тока 5, обтекается вторичным током и отделена от высокого напряжения и токоведущих частей. При увеличении тока в реле до тока срабатывания якорь 2 преодолевает усилие пружины 6, втягивается и ударяет бойком 3 по защелке 4, удерживающей механизм привода выключателя во включенном положении. Защелка, поворачиваясь, освобождает механизм привода выключателя, и выключатель отключается под действием пружины 7.

После отключения выключателя прохождение тока в обмотке реле прекращается, и сердечник с бойком и защёлка возвращаются в исходное положение. Таким образом, реле при срабатывании производит непосредственное отключение выключателя путем механического воздействия на его привод, развивая при этом значительное усилие – порядка 4,9 – 9,8 Н и более. Для создания такого усилия реле потребляет от трансформаторов тока большую мощность, достигающую 50 В·А и более.

Принципиальная схема включения *вторичного реле максимального тока косвенного действия на оперативном постоянном токе* приведена на рис. 3. В отличие от реле прямого действия реле косвенного действия не производит сами отключение выключателя. Для этой цели в приводе имеется специальный выключающий электромагнит 2, а реле 1 имеет вместо бойка контакты, которыми оно при срабатывании замыкает цепь обмотки отключающего электромагнита на аккумуляторную батарею, являющуюся источником оперативного тока.

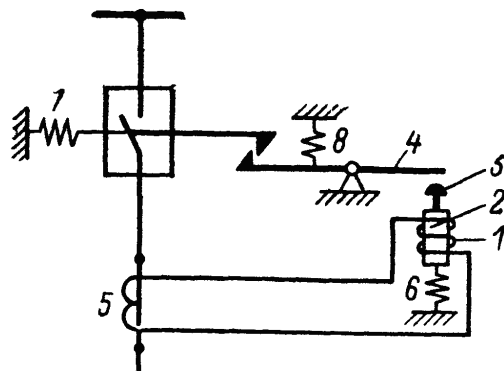


Рисунок 1 - Принципиальная схема включения вторичного реле максимального тока прямого действия

Для облегчения конструкции реле его контакты не рассчитываются на размыкание цепи обмотки отключающего электромагнита, в которой проходит большой ток - до 10 А. Размыкание этой цепи производит специальный вспомогательный контакт привода 3, который размыкается при отключении выключателя. Поэтому при возврате реле в исходное положение его контакты размыкаются при отсутствии тока.

Вторичные реле производят незначительную работу и поэтому, при небольших размерах, могут быть выполнены весьма точными и чувствительными. Кроме того, их легко соединять в различные схемы. Недостатком реле косвенного действия является необходимость источника оперативного тока и прокладки контрольного кабеля для соединения реле с источником оперативного тока и с приводом выключателя.

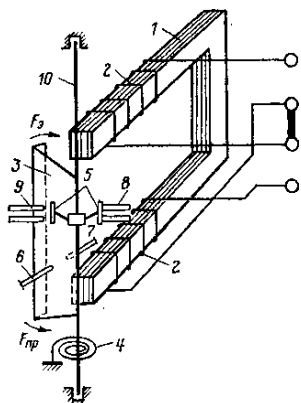


Рисунок 2 - Принцип устройства электромагнитного токового реле типа РТ-40 и реле напряжения типа РН-50

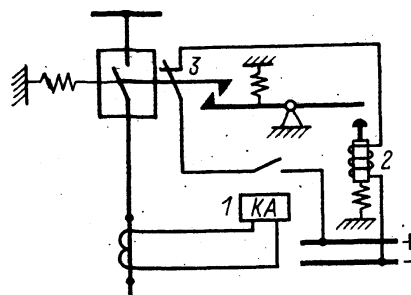


Рисунок 3 - Принципиальная схема включения вторичного максимального тока косвенного действия на оперативном постоянном токе

Электромагнитные реле типов РТ-40 и РН-50 выполнены на электромагнитной системе с поперечным движением якоря. Принцип устройства реле РТ-40, РН-50 показан на рисунке 2, а конструктивное выполнение - на рисунке 4.

Реле состоит из следующих основных частей (деталей): электромагнита 1 с обмоткой 2, состоящей из двух катушек, расположенных на верхнем и нижнем стержнях электромагнита; стального якоря 3, жестко укрепленного на оси 10 подвижных контактных мостиков 5, укрепленных на якоре с помощью изоля-

ционной колодки; спиральной противодействующей пружины 4, связанной внутренним концом с осью якоря; неподвижных контактов 7, 8 и упорных винтов 6, ограничивающих ход якоря.

На якорь действуют электромагнитная сила  $F_э$  и противоположная по направлению механическая сила пружины  $F_{пр}$ . Якорь притягивается к электромагниту, и реле, срабатывая, размыкает контакты 7 и замыкает контакты 8 при токе в реле, при котором  $F_э > F_{пр}$ .

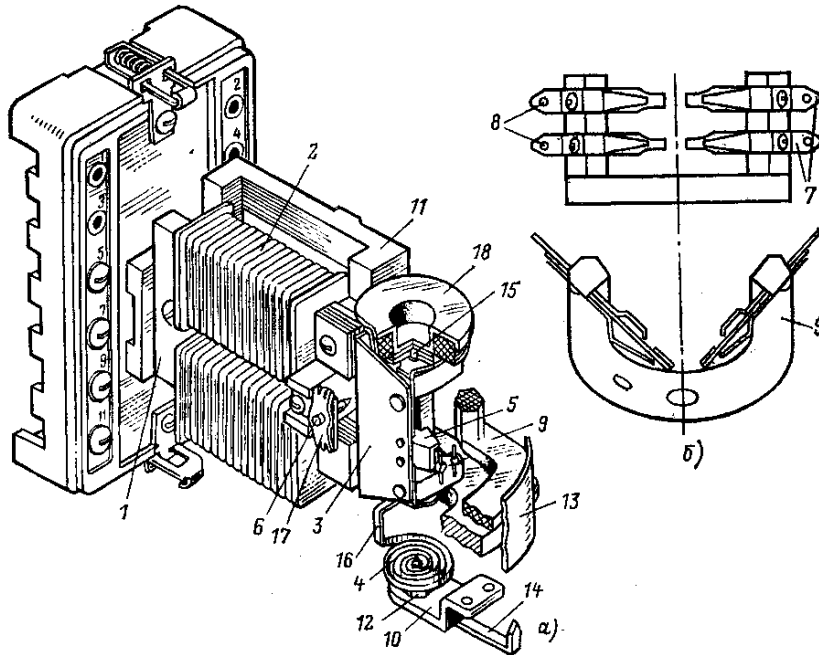


Рисунок 4 - Конструктивное выполнение реле типов РТ-40 и РН-50

а — общий вид; б — крепление неподвижных контактов; 1 — электромагнит; 2 — катушки обмотки; 3 — якорь; 4 — спиральная пружина; 5 — подвижный контакт; 6 — левый упор. 7. — правая пара неподвижных контактов; 8 — левая пара неподвижных контактов; 9 — изоляционная колодка; 10 — держатель пружины; 11 — алюминиевая стойка; 12 — шестигранная втулка; 13 — шкала уставок; 14 — указатель (поводок); 15 — верхняя полуось; 11б — хвостовик; 17 — пластина; 18 — гаситель вибрации.

При прохождении по обмоткам электромагнита тока электромагнит стремится притянуть якорь к полюсам, т. е. повернуть его вместе с осью по часовой стрелке. Этому препятствует спиральная пружина. Усилие, воздействующее на якорь от электромагнита (электромагнитный момент), зависит от числа витков обмотки, значения тока в обмотке и угла поворота якоря, а усилие от пружины (противодействующий момент) — от начальной затяжки пружины, угла и поворота якоря.

При отсутствии тока в обмотке или его малом значении якорь под воздействием пружины находится в крайнем левом положении. С увеличением тока электромагнитный момент возрастает и, когда он превысит противодействующий момент пружины, якорь втягивается под полюсы и поворачивает ось с подвижным контактным мостиком, который при этом замыкает неподвижные контакты. Момент замыкания контактов называется моментом срабатывания реле. Наименьший ток, при котором реле срабатывает, называется *током сра-*

батывания I с.р, а наибольший ток, при котором реле возвращается в исходное положение, – *током возврата* I в.р. Отношение  $k=I_{в.р.}/I_{с.р.}$  так же, как у реле прямого действия, называется *коэффициентом возврата*. Уставки срабатывания токовых реле РТ-40 регулируются изменением натяжения пружины с помощью поводка 14 (рис.4) и изменением соединения катушек обмотки реле (последовательно или параллельно), что изменяет пределы шкалы в 2 раза. Нанесённые на шкале уставки соответствуют последовательному соединению катушек. При параллельном соединении уставки шкалы удваиваются. Коэффициент возврата у максимальных реле не менее 0,8, у минимальных – не более 1,2.

Для гашения вибрации контактов при ударах якоря об упоры у токовых реле РТ-40 имеется специальное механическое устройство - гаситель вибрации 18 (рисунок 4). Гаситель вибрации представляет собой небольшой полый цилиндр, укрепленный на одной оси с якорем и заполненный песком. При срабатывании реле песок поглощает энергию удара якоря об упоры, чем предотвращается его отскакивание и вибрация контактов.

**Реле времени** служат для создания выдержки времени, чем обеспечивается во многих случаях согласование и правильная работа устройств релейной защиты и автоматики. Устройство реле серии ЭВ и часового механизма схематически показано на рисунке 5.

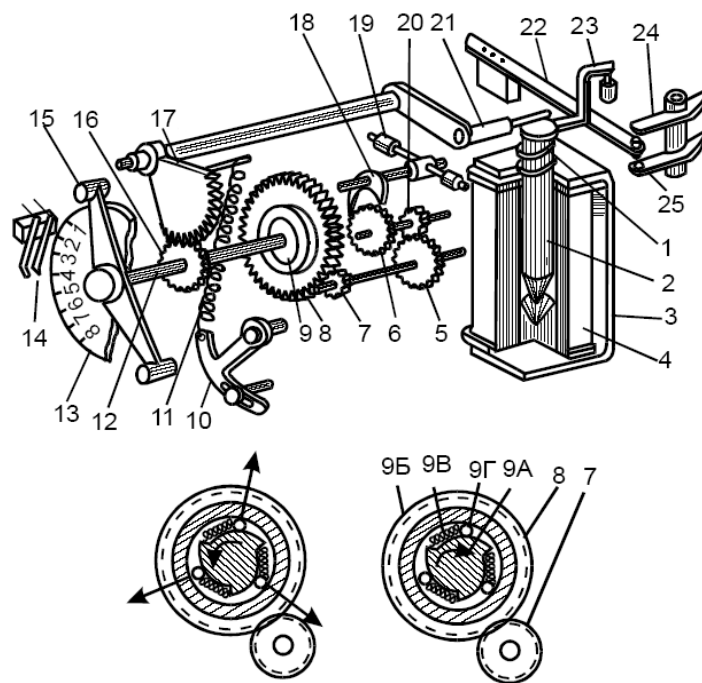


Рисунок 5 - Устройство часового механизма и реле времени ЭВ – 100 и ЭВ – 200.

Электромагнит реле серии ЭВ-100 состоит из магнитопровода 3, катушки 4 и втягивающегося цилиндрического якоря 2. Для получения оптимальной тяговой характеристики нижний конец якоря имеет коническую форму и при втягивании входит в коническое углубление на сердечнике, помещенном внутри катушки. Для исключения залипания якоря в притянутом положении на его нижнем конце имеется бронзовая шайба. На верхнем конце якоря укреплен рычаг 23 с пластмассовым толкателем, воздействующим на мгновенные контакты



24, 25 и 22 без вдержки времени. При отсутствии возбуждения якорь под действием возвратной пружины 1 поднимает вверх до упора заводной рычаг 21 часового механизма, зубчатый сектор 17 поворачивает шестерню 16 на выходном валу 12 и устанавливает подвижные контакты 15, замыкающиеся с выдержкой времени, в начальное положение. Натяжение рабочей пружины может регулироваться с помощью узла 10. При возбуждении электромагнита якорь втягивается, приводит в действие мгновенные контакты и освобождает рычаг 21 часового механизма. Под действием рабочей пружины 11 выходной вал механизма вместе с подвижными контактами 15 начинает поворачиваться. В момент начала движения выходного вала включается фрикционная муфта 9, расположенная внутри шестерни 8, и приводит в действие замедляющее анкерное устройство. Шестерни 8, 7, 5 и 20 передают усилие рабочей пружины на анкерное колесо 6, сцепленное с анкером 18 и балансиром 19. Под воздействием анкерного колеса анкер начинает колебаться. При каждом колебании анкера анкерное колесо поворачивается на один зуб; период колебания анкера регулируется положением грузиков на балансирах.

Вращение выходного вала происходит до тех пор, пока мостик подвижного контакта 15 не замкнет конечные неподвижные контакты 14 и не коснется упора, имеющегося на пластмассовой колодке конечных контактов. Помимо конечного контакта реле могут иметь проскальзывающий контакт, кратковременно замыкающийся после заданной выдержки времени. Выдержка времени проскальзывающего контакта может быть только меньше выдержки времени конечных контактов. Изменение уставок времени срабатывания производится перемещением неподвижных конечных и проскальзывающих контактов на шкале 13. Реле имеет сильную возвратную пружину, рассчитанную на завод часового механизма, поэтому обмотка электромагнита потребляет значительную мощность и может подключаться к источнику напряжения лишь на непродолжительное время.

Реле серии ЭВ-100 выпускается двенадцати различных исполнений, отличающихся диапазоном регулирования выдержки времени, длительной или кратковременной термической стойкостью и наличием или отсутствием проскальзывающего контакта.

Реле времени ЭВ-200 отличается от реле серии ЭВ-100 только конструкцией электромагнита и передаточных звеньев.

Реле времени ЭВ-100 с электромагнитными пусковыми элементами и механическими замедлителями работает следующим образом. При подаче напряжения на обмотку электромагнита цилиндрический плунжер втягивается, сжимая возвратную пружину, при этом освобождается рычаг сцепления с часовым механизмом. Часовой механизм под действием встроенной в нем пружины начинает вращаться, обеспечивая равномерное движение стрелки с подвижным контактом, который через заданный промежуток времени вызывает замыкание неподвижных контактов, закрепленных на контактной колодке. Выдержка времени задается поворотом контактной колодки против соответствующей цифры на шкале.

### **Методические указания:**

Перед выполнением работы необходимо изучить теоретические сведения, составить конспект ответов на контрольные вопросы в лекционной тетради.

### **Порядок выполнения работы:**

1. Повторить основные правила техники безопасности при работе в лаборатории.

2. Получить допуск к работе, ответив на вопросы тестовых заданий (по заданию преподавателя).

3. Изучить конструкцию, взаимодействие отдельных механизмов и элементов электромеханических реле.

4. Опробовать работу реле:

4.1. Включить тумблер S1 на столе преподавателя;

4.2. Выставить уставку срабатывания реле времени (по заданию преподавателя);

4.3. Включить вводной автомат на стенде QF1 (рис.1), при этом должна загореться лампа HL1, сигнализирующая о том, что стенд под напряжением;

4.4. Нажать кнопку SB;

4.4. Записать показания времени срабатывания реле времени;

4.5. Аналогично опробовать работу промежуточного реле;

4.6. Отключить стенд выключателем QF1.

5. Составить отчет по работе.

6. В тетради зарисовать схему внутренних соединений реле (по заданию преподавателя)

### **Контрольные вопросы:**

1. Опишите конструкцию, принцип действия реле РТ-40, РН-50.

2. Что такое коэффициент возврата?

3. Почему у реле типа РТ-40 при параллельном соединении секций обмотки ток срабатывания увеличивается в 2 раза?

4. Опишите конструкцию, принцип действия реле времени.

5. Перечислите вспомогательные (логические) реле и их назначения.

## **Лабораторное занятие 1**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО РЕЛЕ ТОКА**

#### **Цель работы:**

Ознакомиться с устройством электромагнитного реле тока типа РТ-80 и техникой его испытания.

#### **Общие сведения:**

Индукционное реле тока РТ-80 имеет ограниченно зависимую характеристику  $t = f(I)$  и содержит два релейных элемента – индукционный и электромагнитный (рис. 6).

При протекании по обмотке реле тока  $I_p \geq I_{ср.р}$  диск индукционного элемента  $I$  медленно вращается, причем его вращению препятствует тормозной момент, создаваемый постоянным магнитом 2. Под действием электромагнит-

ного момента, создаваемого током реле, рамка 3 поворачивается, червяк 4 входит в зацепление с зубьями сегмента 5, начинает постепенно подниматься, преодолевая усилие пружины 6, и специальной планкой 7 замыкает контакты реле 8. Время срабатывания регулируется начальным положением зубчатого сегмента при помощи винта, укрепленного на шкале времени. Чем больше сила тока  $I_p$  в обмотке электромагнита, тем быстрее вращается диск и с меньшей выдержкой времени замыкаются контакты реле, т.е. реле имеет зависимую от тока характеристику времени срабатывания. При значениях тока  $I_p = (6-8) I_{ср.р}$  наступает насыщение стали электромагнита и характеристика переходит в независимую. Поэтому характеристики реле РТ-80 называют *ограниченно зависимыми*.

Токи срабатывания индукционного элемента  $I_{ср.р}$  регулируются изменением числа витков обмотки (перестановкой контактного винта 11 на контактной колодке);  $I_{ср.} = 2-10$  А; время срабатывания 0,5-16 с. Электромагнитный элемент реле РТ-80 состоит из ярма электромагнита 9 и якоря 10, через которые замыкается часть потоков рассеивания электромагнита. При протекании по обмотке реле тока  $I_p \geq 2I_{ср.р}$  якоря втягивается и без выдержки времени (отсечкой) замыкает контакты реле.

Таким образом, электромагнитный элемент может действовать или совместно с индукционным элементом, или самостоятельно, как бы отсекая часть характеристики реле при больших токах. Поэтому электромагнитный элемент называется отсечкой с кратностью срабатывания  $I_{отс} = (2-8) I_{ср.}$  Токи срабатывания электромагнитного элемента регулируются изменением количества витков обмотки и положения регулировочного винта 12 (рис.6).

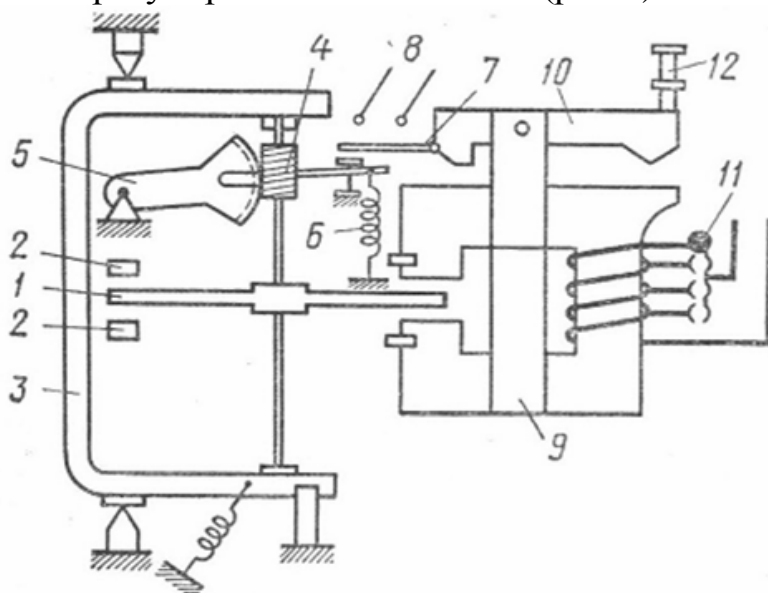


Рисунок 6 - Устройство индукционного реле РТ-80.

Конструкция электромагнитного реле содержит электромагнит 1, состоящий из стального сердечника и обмоток 6, стальной подвижной якорь 2, неподвижные контакты 3, подвижные контакты 4 и противодействующую пружину 5.

При прохождении тока по обмотке реле магнитный поток, создаваемый этим током, намагничивает подвижный якорь. Возникающая при этом электромагнитная сила действует на якорь и создает вращающий момент, поворачивающий подвижную систему и связанный с осью контактный мостик. Этому

перемещению препятствует спиральная пружина, создающая противодействующий момент. Для надёжного срабатывания реле необходимо, чтобы вращающий момент превосходил момент сопротивления пружины, трения и массы подвижной системы. Если моменты равны, то реле начинает работать. Для изменения тока (напряжения) срабатывания реле надо изменить момент сопротивления, то есть изменить натяжение возвратной пружины.

**Последовательность выполнения работы:**

1. Ознакомиться с оборудованием и приборами, необходимыми для выполнения работы. Выписать паспортные данные.
2. Проверить состояние механической части реле: состояние кожуха и уплотнения, наличие всех деталей, надёжность их крепления, четкость хода подвижной системы и возврата ее в исходное положение, правильность регулировки хода якоря и контактов (убедиться в отсутствии заедания подшипников).
3. Собрать схему (рис. 7). Определить максимальное время уставки. Проверить ток срабатывания электромагнитного элемента (отсечки) при минимальной уставке, максимальной уставке и в промежуточном положении.
4. Результаты измерений и расчетов записать в таблицу 1.

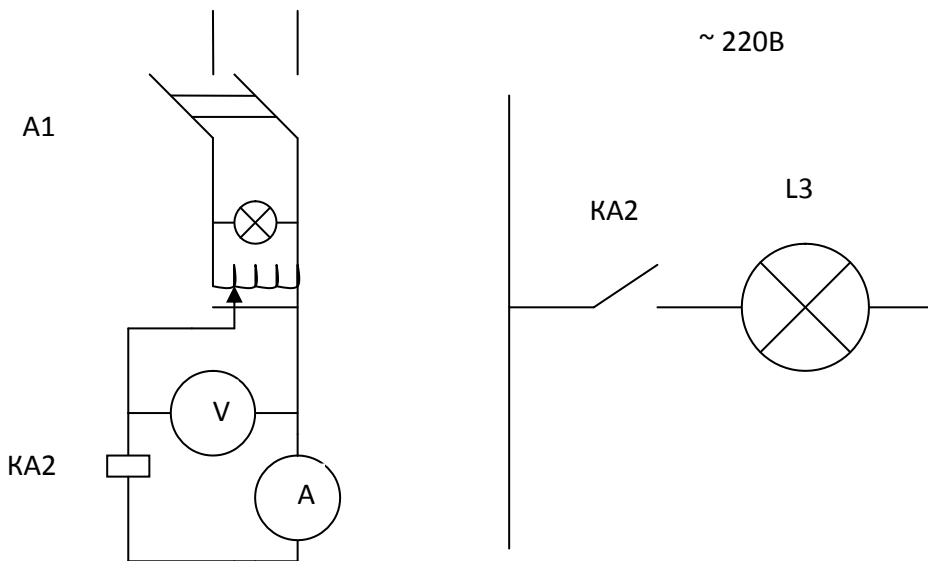


Рисунок 7 - Схема подключения реле РТ-80

**Порядок выполнения работы:**

1. Перед испытанием на стенде необходимо убедиться в том, что: автомат в положении «откл.», ЛАТР в нулевом положении.
2. Собрать схему и подключить обмотку токового реле к клеммам. Все остальные кнопки и переключатели в положении «откл.». Нормально открытые контакты реле подключить к клеммам сигнальной лампы.
3. Включить автомат А1.

Производить увеличение тока плавным вращением ручки ЛАТР до момента срабатывания реле. Ток срабатывания определяется по амперметру. Вращая ручку ЛАТР в обратном направлении, определить ток возврата реле,

который определяется по затуханию лампы и фиксируется по амперметру. Коэффициент возврата определяется по формуле:

$$k_{возв} = \frac{I_{возв}}{I_{сп}} \quad (1)$$

4. Полученные данные свести в таблицу 1. Опыт повторить для каждого оцифрованного деления шкалы.

Таблица 1 - Результаты измерений и расчетов

$I_{уст}, A$	$t, сек.$	$I_{сп}, A$	$I_{возв}, A$	$k_{возв}$	Значение уставки
					Максимальное
					Минимальное

5. Замерить время срабатывания индукционного элемента, изменяя ток по заданию преподавателя. Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты измерений времятоковой характеристики

$I_{с.р.1}$								
$t_{с.р.1}$								

6. Построить характеристику  $t_{с.р.} = f(I_{с.р.})$

#### Содержание отчета:

1. Наименование работы и ее номер.
2. Цель работы.
3. Материально - техническое обеспечение.
4. Схема подключения реле РТ-80.
5. Заполненная таблица 1 с результатами измерений и вычислений.
6. Заполненная таблица 2 с результатами измерений.
7. Времятоковая характеристика реле.
8. Выводы.

#### Контрольные вопросы:

1. Что представляет собой индукционный элемент?
2. Что представляет собой электромагнитный элемент?
3. Что называется током срабатывания индукционного элемента реле.
4. Как регулируются уставки срабатывания реле по току, по времени?

## Лабораторное занятие 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ СОЕДИНЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА (ТТ)

#### Цель работы:

- ознакомиться со схемами соединения вторичных обмоток трансформаторов тока; исследовать изменение тока во вторичных цепях в зависимости от схем соединения обмоток ТТ.

**Материально-техническое оснащение:** лабораторный стенд, методические указания к лабораторной работе, чертежные принадлежности.

**Краткие теоретические сведения:**

Измерительные трансформаторы тока служат для преобразования токов первичных цепей в стандартные токи 5 или 1 А. Они питают цепи релейной защиты и автоматики током сети и выполняют роль датчика, через который поступает информация к измерительным органам устройств релейной защиты. От точности этой информации зависит надёжная и правильная работа релейной защиты. Поэтому основным требованием к трансформаторам тока являются точность трансформации с погрешностями, не превышающими допустимых значений. К погрешностям трансформатора тока относятся – погрешность по току ( $\Delta I$ ) и погрешность по углу – угловая погрешность ( $\delta$ ).

Нормально трансформаторы тока работают в режиме, близком к режиму короткого замыкания вторичной обмотки.

Зажимы обмоток маркируются: первичной –  $L1$  и  $L2$  и вторичной  $I1$  и  $I2$ . Для подключения реле и измерительных приборов вторичные обмотки ТТ соединяются в различные схемы. Наиболее распространенные схемы приведены на рисунках 9÷12. Для каждой схемы соединений можно определить отношение тока в реле  $I_p$  к току в фазе  $I_\phi$ . Это отношение называется *коэффициентом схемы*:

$$k_{c.x.} = \frac{I_p}{I_\phi} \quad (2)$$

На рисунке 9 дана основная схема соединения в звезду. ТТ устанавливаются во всех фазах. Вторичные обмотки трансформатора тока и обмотки реле соединяются в звезду и их нулевые точки связываются одним проводом, называемым нулевым. В нулевую точку объединяются одноименные зажимы обмоток ТТ.

**Особенности схемы:** Защита реагирует на все виды КЗ и имеет одинаковую чувствительность (коэффициент чувствительности при разных повреждениях одинаковый). При всех замыканиях, кроме замыкания на землю, в нулевом проводе протекает геометрическая сумма токов в реле, в следствии чего, ток в нулевом проводе приблизительно равен нулю (в нем протекают токи небаланса). Реле в нулевом проводе реагирует только на токи к.з. на землю.

Ток в реле равен току в фазе, поэтому коэффициент схемы  $k_{c.x.} = 1$ .

На рисунке 10 – схема соединения в неполную звезду. Схема неполной звезды реагирует не на все случаи однофазного КЗ и поэтому применяется для защит, действующих при междуфазных повреждениях. Коэффициент схемы  $k_{c.x.} = 1$ .

На рисунке 11 – схема соединения в треугольник, используемая для получения разности фазных токов (например, для включения дифференциальной защиты трансформаторов).

Схема соединения трансформаторов тока в треугольник обладает следующими особенностями:

1. Токи в реле проходят при всех видах КЗ., и, следовательно, защиты по такой схеме реагируют на все виды КЗ.

2. Отношение тока в реле к фазному току зависит от вида КЗ.

3. Токи нулевой последовательности не выходят за пределы треугольника трансформаторов тока, не имея пути для замыкания через обмотки реле.

При КЗ на землю в реле попадают только токи прямой и обратной последовательностей, т.е. только часть тока КЗ.

Данная схема применяется в основном для дифференциальных и дистанционных защит.

Поскольку в схеме ток в реле при трехфазных симметричных режимах в  $\sqrt{3}$  раз больше тока в фазе, коэффициент схемы равен:

$$k_{ex}^{(3)} = \frac{I_p}{I_\phi} = \frac{\sqrt{3}I_\phi}{I_\phi} = \sqrt{3} \quad (3)$$

На рисунке 12 дана схема последовательного соединения двух трансформаторов тока, установленных на одной фазе. При таком соединении нагрузка, подключенная к ним, распределяется поровну, т. е. на каждом из них уменьшается в 2 раза. Происходит это потому, что ток в цепи, равный  $I_2 = \frac{I_1}{K_{ТТ}}$ , остается неизменным.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомиться с аппаратурой, схемой соединения установки. Зарисовать схему в тетрадь (рисунок 8). Записать паспортные данные оборудования.

2. Собрать схему полной звезды (рисунок 9). Записать показания приборов, и в каких цепях используется данный вид соединения схемы защиты.

3. Собрать схему неполной звезды (рисунок 10). Записать показания приборов, и в каких цепях используется данный вид соединения схемы защиты.

4. Собрать схему соединения в треугольник (рисунок 11). Записать показания приборов, и в каких цепях используется данный вид соединения схемы защиты.

5. Собрать схему последовательного соединения трансформаторов тока (рисунок 12). Записать показания приборов, и в каких цепях используется данный вид соединения схемы защиты.

6. Изменить полярность одного трансформатора тока (по указанию преподавателя) в схеме полной звезды.

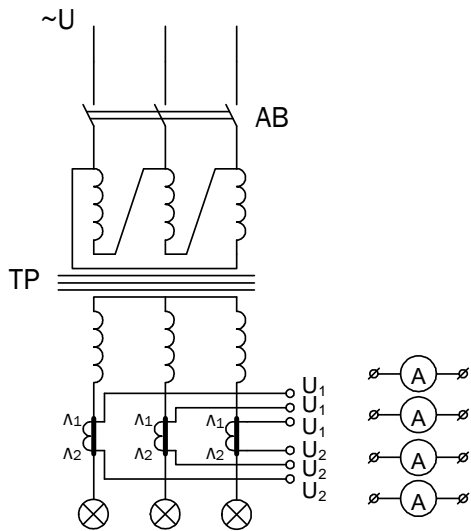


Рисунок 8 – Схема установки

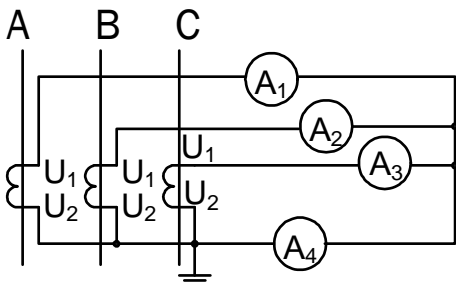


Рисунок 9 - Схема полной звезды

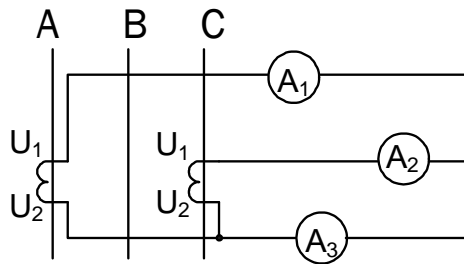


Рисунок 10 - Схема неполной звезды

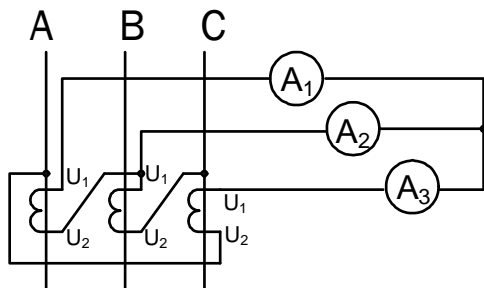


Рисунок 11 - Схема соединения в треугольник

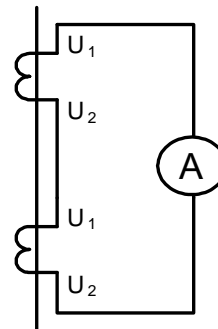


Рисунок 12 – Схема последовательного соединения ТТ

### Содержание отчета:

1. Наименование работы и ее номер.
2. Цель работы.
3. Материально - техническое обеспечение.
4. Схема установки.
5. Схемы соединений трансформаторов тока с результатами измерений и вычислений.
6. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Достоинства и недостатки схем, применяемых в лабораторной работе.
2. Как определяется коэффициент схемы?
3. Как определяется коэффициент чувствительности?
4. Назначение реле в обратном проводе неполной звезды.



5. Какие схемы соединения обмоток трансформаторов тока используются в защитах от многофазных КЗ?

6. Каково назначение нейтрального провода в схеме полной звезды?

### Лабораторное занятие 3

#### СНЯТИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК (ВАХ) ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

##### Цель работы:

- получить практические навыки по испытанию трансформаторов тока, используя методы, применяемые в эксплуатации;

- на основании экспериментальных данных оценить техническое состояние трансформатора тока;

- научиться строить вольт-амперную характеристику ТТ.

##### Краткие теоретические сведения:

Вольт-амперная характеристика трансформатора тока  $U_2 = f(I_{\text{нам}})$  – это характеристика, представляющая зависимость напряжения на вторичной обмотке ТТ ( $U_2$ ) от тока намагничивания ( $I_{\text{нам}}$ ) при разомкнутой цепи первичной обмотки.

Снятие ВАХ необходимо для двух целей:

1. Оценка исправности ТТ как аппарата (отсутствие витковых замыканий во вторичной обмотке);

2. Расчет полной погрешности ТТ ( $\square$ ).

В данной работе проверяется исправность ТТ как аппарата.

Исправность ТТ оценивается сопоставлением построенной ВАХ с ВАХ других ТТ того же типа, класса и коэффициента трансформации, а также с ВАХ трансформаторов тока на других фазах данного присоединения (в данной работе сопоставляются между собой ВАХ трех одинаковых трансформаторов).

При наличии виткового замыкания во вторичной обмотке ТТ (наиболее распространенная неисправность) ВАХ резко снижается по сравнению с ВАХ исправных ТТ и при этом резко уменьшается угол наклона ВАХ к горизонтальной оси. Трансформаторы тока с такими ВАХ должны браковаться.

При снятии ВАХ напряжение регулируется автотрансформатором типа ЛАТР (лабораторный автотрансформатор). Трансформаторы тока при этом должны быть полностью отсоединены от схемы защиты, а вторичные заземления вторичных обмоток сняты.

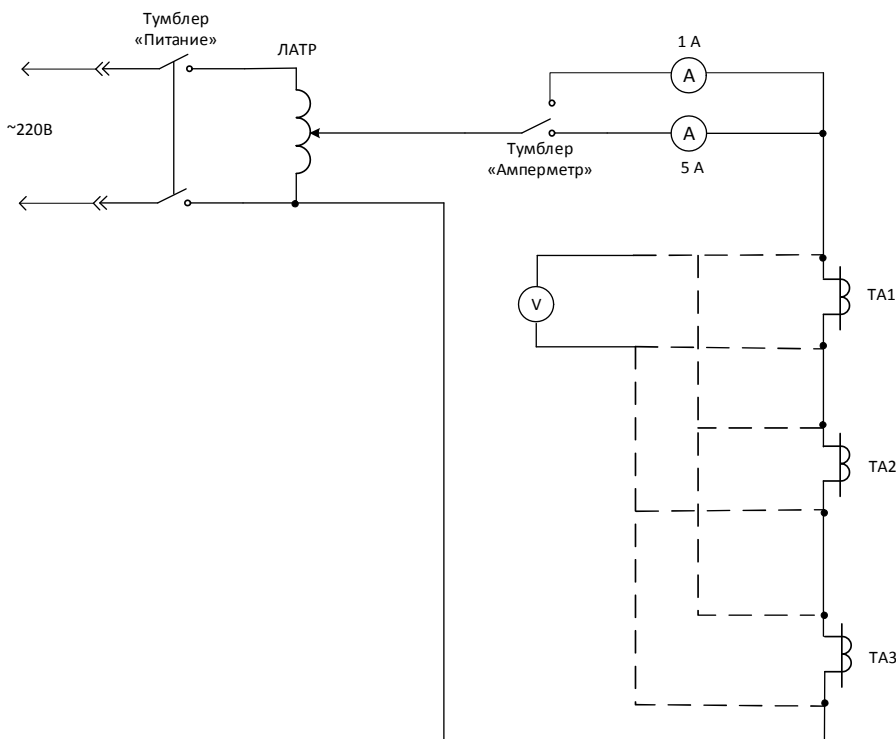


Рисунок 12 - Принципиальная электрическая схема стенда

### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с принципиальной схемой стенда, начертить ее.
2. Открыть дверцу стенда.
3. Подсоединить зажимы «крокодил» к вторичной обмотке первого трансформатора тока (полярность значения не имеет).
4. Закрыть дверцу стенда.
5. Проверить, что ручка регулировки напряжения на ЛАТР выведена в крайнее левое положение.
6. Проверить, что тумблер «Амперметр» находится в положении «1А»
7. Подсоединить вилку, которая находится на дверце стенда, к розетке, которая находится на левом торце стенда.
8. Перевести тумблер «Питание» в положение «ВКЛ».
9. Плавно вращать регулятор ЛАТР до того, как стрелка амперметра 0..1 А покажет 0,2 А.
10. Занести показание вольтметра при этом токе в соответствующую графу табл. 3.
11. Далее вращать ручку регулятора до увеличения тока до 0,4 А и также занести показание вольтметра, соответствующее этому току в соответствующую графу табл. 3.
12. Далее вращать ручку регулятора до установления тока поочередно 0,6 А, 0,8 А, 1 А, фиксируя показания вольтметра в соответствующих графах табл. 3.
13. Затем тумблер «Амперметр» перевести в положение «5А», и вращая ручку регулятора до установления поочередно тока 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5 А, фиксировать показания вольтметра при этих токах в соответствующих графах табл. 1.

Таблица 3 - Результаты измерений

$I_{\text{нам}}, \text{ A}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	2,5	3	4	5
$U_2, \text{ B}$											

14. Перевести ручку регулятора ЛАТР в крайнее левое положение.
15. Тумблер «Амперметр» перевести в положение «1 А».
16. Тумблер «Сеть» перевести в положение «Откл».
17. Отсоединить на торце стенда вилку от розетки.
18. Открыть дверцу стенда.
19. Отсоединить зажимы типа «крокодил» от вторичной обмотки первого трансформатора тока и подсоединить их ко вторичной обмотке второго трансформатора тока.
20. Повторить действия, описанные в п. 4 – 18.
21. По полученным данным табл. 1 построить график зависимости напряжения на вторичной обмотке  $U_2$  от тока намагничивания  $I_{\text{нам}}$   $U_2 = f(I_{\text{нам}})$ .
22. Отсоединить зажимы типа «крокодил» от вторичной обмотки второго трансформатора тока и подсоединить их ко вторичной обмотке третьего трансформатора тока.
23. Повторить действия, описанные в п. 4 – 18.
24. По данным табл. 3 построить график зависимости напряжения на вторичной обмотке от тока намагничивания  $U_2 = f(I_{\text{нам}})$  для каждого трансформатора (три графика).
25. Сравнить полученные графики.
26. Сделать вывод о пригодности трансформаторов тока.

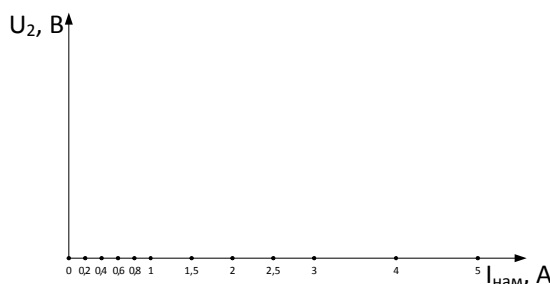


Рисунок 12 – Вольт-амперная характеристика ТТ

### Содержание отчета:

1. Наименование работы и ее номер.
2. Цель работы.
3. Материально - техническое обеспечение.
4. Принципиальная электрическая схема стенда.
5. Таблица 3 с результатами измерений.
6. Кривые намагничивания сердечников испытуемых ТТ.
7. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Что такое ВАХ ТТ и как ее получить?

2. С какой целью снимаются ВАХ трансформатора тока?

## Практическое занятие 2

### РАСЧЕТ УСТАВОК МАКСИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ

#### **Цель работы:**

- научиться самостоятельно, производить расчет и выбор уставок срабатывания МТЗ.

**Материально-техническое оснащение:** методические указания к решению задачи; чертежные принадлежности.

#### **Краткие теоретические сведения:**

Одним из признаков возникновения КЗ является увеличение тока в защищаемом элементе. Этот признак используется для выполнения релейных защит, называемых токовыми. Токовые РЗ приходят в действие при увеличении тока сверх определенного значения. В качестве реле, реагирующих на возрастание тока, служат максимальные токовые реле.

Токовые РЗ подразделяются на максимальные токовые релейные защиты и токовые отсечки. Главное различие между этими защитами заключается в способе обеспечения селективности.

Селективность действия максимальных токовых РЗ достигается с помощью выдержки времени. Селективность токовых отсечек обеспечивается соответствующим выбором тока срабатывания.

Максимальные токовые защиты (МТЗ) являются основным видом РЗ для сетей с односторонним питанием. Они устанавливаются в начале каждой ЛЭП со стороны источника питания. Каждая ЛЭП имеет самостоятельную РЗ, отключающую ЛЭП в случае повреждения на ней самой или на шинах питающейся от нее ПС, и резервирующую РЗ соседней ЛЭП.

При КЗ в какой-либо точке сети ток КЗ проходит по всем участкам сети, расположенным между источником питания и местом повреждения, в результате чего приходят в действие все комплекты РЗ. Однако по условию селективности сработать на отключение должна только РЗ, установленная на поврежденной ЛЭП. Для обеспечения указанной селективности МТЗ выполняются с выдержками времени, нарастающими от потребителей к источнику питания. Защиты, имеющие большие выдержки времени, вернутся в начальное положение, не успев подействовать на отключение.

Разновидности максимальной токовой защиты: максимальные токовые защиты выполняются на электромеханических и статических реле прямого и косвенного действия по трех- и двухфазным схемам. По способу питания оперативных цепей МТЗ косвенного действия делятся на РЗ с постоянным и переменным оперативным током. По характеру зависимости времени действия от тока МТЗ подразделяются на РЗ с независимой и зависимой характеристиками.

#### **Методические указания:**

Расчет параметров МТЗ сводится к выбору тока срабатывания и выдержки времени и определению оценки чувствительности защиты. Ток срабатывания

МТЗ  $I_{С.З.}$ , А определяется по формуле:

$$I_{С.З.} = \frac{K_H K_{СЗ}}{K_B} I_{РАБМАХ}. \quad (4)$$

где  $K_H$  – коэффициент надежности;  
 $K_{СЗ}$  – коэффициент самозапуска двигателей (1÷4);  
 $K_B$  – коэффициент возврата реле;  
 $I_{РАБМАХ}$  – максимальный рабочий ток защищаемой линии, А

Коэффициент надежности принимается равным:

для полупроводниковых реле 1,15 ÷ 1,2;

для электромагнитных реле 1,2 ÷ 1,3;

для индукционных реле 1,5.

Ток срабатывания реле  $I_{С.Р.}$ , А является вторичным током и определяется по формуле:

$$I_{С.Р.} = \frac{K_{СХ}}{K_{ТТ}} I_{С.З.} \quad (5)$$

где  $K_{СХ}$  – коэффициент схемы, равный отношению тока в реле к вторичному току трансформатора тока;  
 $K_{ТТ}$  – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Коэффициент схемы  $K_{СХ} = 1$  для схем соединения трансформаторов тока в звезду и неполную звезду;  $K_{СХ} = \sqrt{3}$  для схем треугольника, неполного треугольника и на разность токов двух фаз.

$K_{ТТ}$  выбирается в зависимости от максимального рабочего тока; принимается большее стандартное значение по шкале номинальных первичных токов (табл. А.1 приложения А)

Чувствительность защиты оценивается значением коэффициента чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗМИН}}^2}{I_{С.З.}} \quad (6)$$

Чувствительность проверяется для двух режимов: основного и режима резервирования. Если защита МТЗ работает как основная, то чувствительность проверяется по короткому замыканию в конце защищаемой линии. Значение  $K_{\text{ч}}$  должно быть больше или равно 1,5.

Если защита МТЗ работает в режиме резервирования, то чувствительность проверяется по короткому замыканию в конце резервируемой линии. Значение  $K_{\text{ч}}$  должно быть больше или равно 1,2.

Решение задачи выполняется по **алгоритму**:

1. Определяется ток нагрузки защищаемых линий (6 линий);
2. Выбирается по току нагрузки  $K_{ТТ}$  (см. приложение А, табл. А.1);
3. Рассчитывается ток срабатывания защиты (формула 4);

4. Рассчитывается ток срабатывания реле (формула 5) и выбираются типы электромагнитных токовых реле (см. приложение А, табл.А.2);

5. Определяется  $K_{\text{ч}}$  защиты как основной и как резервной (формула 6).

**Задание:** Выбрать коэффициенты трансформации трансформаторов тока, ток срабатывания защиты и ток срабатывания реле (при схеме полной или неполной звезды) токовых защит 1÷6 сети (см. рисунок 13). Проверить чувствительность защиты как основной (на своем участке) и как резервной (на следующем участке). Выбрать типы токовых реле. Коэффициент надежности для отстройки от тока нагрузки может быть принят  $k_n=1,2$ . Коэффициент возврата реле  $k_v=0,85$ . Данные о токах нагрузки и расчетных значениях токов КЗ указаны в таблице 4.

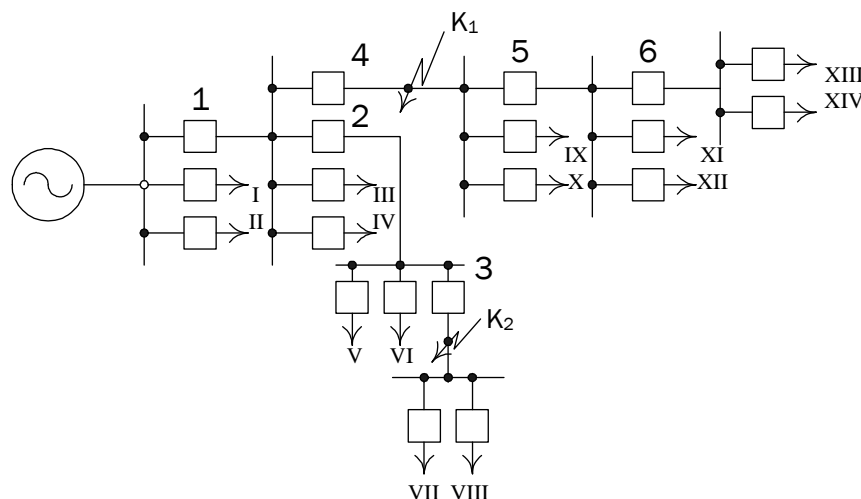


Рисунок 13 - Схема сети

### Контрольные вопросы:

1. На чем основан принцип действия МТЗ?
2. Как обеспечивается селективность защиты?
3. Запишите формулу для определения тока срабатывания МТЗ, реле?
4. Как определить  $K_{\text{ч}}$  МТЗ как основной и как резервной?

Таблица 4 - Исходные данные для решения задачи

Вариант	Ток нагрузки $I_{нагр}$ , А						Ток короткого замыкания, $I_{к.з.}$ , А на шинах ПС с отходящими нагрузками						Ток КЗ, $I_{к.з.}$ , А в конце более длинной линии							
	$I_{I+II}$	$I_{III+IV}$	$I_{V+VI}$	$I_{VII+VIII}$	$I_{IX+IX}$	$I_{XI+IX}$	$I_{I+II}$	III и IV	$V_{VI}$	$V_{VII+VIII}$	IX и X	XI и XII	XIII и XIV	I и II	III и IV	V и VI	VI и VII	IX и X	XI и XII	XIII и XIV
1	215	37	80	34	78	24	68	2100	1550	1110	770	1200	1080	950	1500	730	930	670	690	710
2	315	68	19	51	25	36	24	1100	890	740	590	780	680	600	850	550	650	510	510	530
3	135	71	63	48	70	29	41	1430	1090	890	680	930	790	640	1100	630	760	570	600	610
4	215	39	90	40	80	29	73	2150	1600	1130	800	1090	970	970	1510	750	950	690	700	720
5	345	70	29	58	25	40	20	1120	900	800	580	670	590	870	560	660	500	520	540	
6	130	61	65	50	75	32	43	1440	1100	899	690	800	650	1200	640	770	580	620	630	
7	235	57	90	30	70	23	58	2400	1600	1200	870	1180	1000	1560	800	960	770	730	760	
8	315	74	23	59	30	40	29	1000	910	790	580	700	630	855	560	650	520	530	550	
9	155	91	57	45	60	25	39	1420	1080	880	670	780	630	1120	630	770	570	610	620	
10	225	47	60	37	75	29	73	2500	1600	1100	790	1110	970	1550	750	940	695	695	715	

## **Содержание отчета:**

1. Наименование работы и ее номер.
2. Цель работы.
3. Задание в соответствии с вариантом.
4. Схема сети.
5. Выполнение расчетов с приведением расчетных формул, названия величин и их размерности.
6. Выводы.

## **Практическое занятие 3**

### **РАСЧЕТ СТУПЕНЧАТОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КЗ НА ЛИНИИ С ОДНОСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ**

#### **Цель работы:**

- научиться самостоятельно производить расчет и выбор уставок срабатывания трехступенчатой МТЗ ЛЭП.

**Материально-техническое оснащение:** методические указания к решению задачи; чертежные принадлежности.

#### **Краткие теоретические сведения:**

Воздушные и кабельные линии электропередачи большой протяженности подвержены повреждениям в большей степени, чем другое электрическое оборудование. Для быстрого отключения при повреждениях линии должны быть оборудованы релейной защитой, действующей на отключение. В электрических сетях, работающих с заземленными нулевыми точками трансформаторов, должна действовать на отключение защита от междуфазных и однофазных КЗ, а в сети, работающей с изолированными нулевыми точками трансформаторов, - только защита от междуфазных КЗ. Для ускорения отыскания места повреждения устанавливается защита с действием на сигнал.

Защиты линий отличаются многообразием и определяются главным образом схемой работы линии, напряжением сети и ответственностью питаемых потребителей. Для линий с односторонним питанием применяются: максимальная токовая защита, токовая отсечка, токовая поперечная дифференциальная защита параллельных линий, направленная токовая поперечная дифференциальная защита параллельных линий.

Для защиты линий с двусторонним питанием, кроме указанных выше защит, применяются: максимальная направленная защита, направленная отсечка, продольная дифференциальная защита, дистанционная защита, высокочастотная защита.

Часто применяют сочетание токовой отсечки с максимальной токовой защитой. Применение токовой отсечки дает возможность ускорить отключение повреждений, сопровождающихся прохождением больших токов КЗ и вызывающих глубокие понижения напряжения на шинах подстанций, а также снизить выдержки времени максимальных токовых защит. При сочетании токовой отсечки с максимальной токовой защитой получается токовая защита со ступенчатой характеристикой времени срабатывания. Такая защита имеет отсечку



как первую ступень (первую зону), в пределах которой она действует мгновенно, и максимальную токовую защиту как вторую ступень (вторую зону), в пределах которой она действует с выдержкой времени. В ряде случаев применяется сочетание отсечки мгновенного действия с отсечкой, имеющей небольшую выдержку времени (порядка 0,5-1 с), и с максимальной токовой защитой. При таком сочетании защита имеет три ступени и соответственно трехступенчатую характеристику времени срабатывания.

#### **Методические указания:**

Первая ступень - токовая отсечка мгновенного действия, защищает начальный участок линии. Ток срабатывания ТО отстраивается от тока трехфазного КЗ в конце защищаемой линии.

$$I_{C.3.} = K_H I_{K3MAX}^3 \quad (7)$$

Вторая ступень - отсечка с выдержкой времени 0,5 сек, предназначена для надежной защиты оставшегося участка линии. Ток срабатывания второй ступени отстраивается от тока трехфазного КЗ за трансформатором.

Третья ступень - максимальная токовая защита, выполняет функции ближнего и дальнего резервирования. Ток срабатывания третьей ступени МТЗ находится по формуле 1.3.

Решение задачи выполняется **по алгоритму:**

1. Определяется ток нагрузки защищаемой линии.
2. Выбирается по току нагрузки  $K_{TT}$  (см. приложение А).
3. Составляется схема замещения для расчета тока трехфазного КЗ.
4. Выполняется расчет сопротивлений в относительных или именованных единицах (приложение Б÷Г).
5. Находятся токи КЗ на шинах подстанции Б, за трансформатором и с учетом параллельной работы трансформаторов.
6. Рассчитывается ток срабатывания I ступени защиты, т.е ТО (формула 7) и ток срабатывания реле (формула 5).
7. Рассчитывается ток срабатывания II ступени защиты, т.е ТО с выдержкой времени 0,5 сек (формула 7) и ток срабатывания реле (формула 5)
8. Рассчитывается ток срабатывания III ступени защиты, т.е МТЗ с необходимой выдержкой времени (формула 4) и ток срабатывания реле (формула 5).
9. Выбирается уставка МТЗ по времени (по ступенчатому принципу).
10. Определяется  $K_{ч}$  II и III ступеней защит (формула 6). III ступень проверяется как основная и как резервная.
11. Зона действия ТО находится графически – пересечением  $I_{C.3.}$  с током 2-х фазного КЗ.

#### **Задание:**

У шин подстанции А на линии АБ сети напряжением 35 кВ с малым током замыкания на землю (рисунок 14) устанавливается токовая трехступенчатая защита от замыканий между фазами.

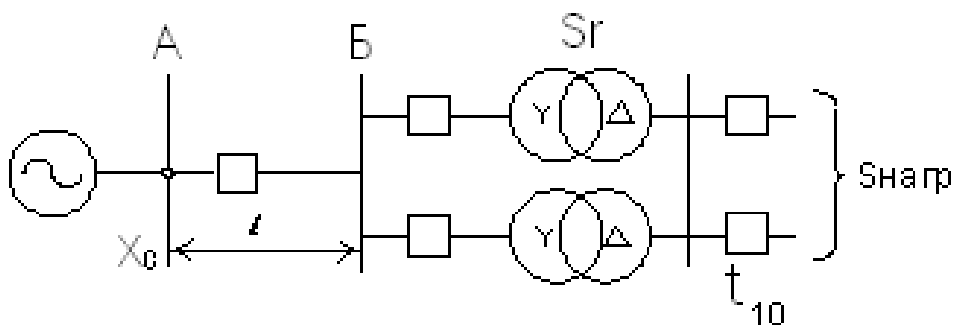


Рисунок 14 - Схема сети

Выбрать коэффициенты трансформации трансформаторов тока и уставки защиты. Определить коэффициент чувствительности защиты как основной и как резервной, а также зону действия 1-й ступени. Во всех расчетах необходимо учитывать возможность режима включения одного или двух трансформаторов на подстанции Б. Значения реактивного сопротивления системы  $X_c$ , длины защищаемой линии  $l$ , мощности трансформаторов  $S_{T\text{-ном}}$  на подстанции Б и их напряжение короткого замыкания  $U_k$ , мощности нагрузки  $S_{\text{нагр}}$  подстанции Б и максимальной выдержки времени  $t_{10}$  защит линий напряжением 10 кВ приведены в табл.5. Удельное реактивное сопротивление защищаемой линии  $X_0 = 0,4$  Ом/км.

Можно принять коэффициент надежности  $K_n = 1,2$ ; коэффициент возврата  $K_B = 0,85$ ; ступень селективности  $\Delta t = 0,5$  сек. При расчете токов КЗ активным сопротивлением можно пренебречь.

Таблица 5 - Исходные данные для решения задачи

Вариант	Сопротивление системы, $X_c$ , Ом	Номинальная мощность системы, $S_{c, \text{ном}}$ , МВА	Длина линии, $l$ , км	Мощность трансформаторов подстанции $S_{T\text{-ном}}$ , МВА.	Напряжение короткого замыкания, $U_k$ , %	Мощность нагрузки, $S_{\text{нагр}}$ , МВА	Максимальная выдержка времени защит линий напряжением 10 кВ, $t_{10}$ , сек
1	3	1000	26	2×10	7,5	15	2,5
2	2	900	16	2×4	7	4	1,5
3	0,8	800	15	2×6,3	7,5	10	2
4	1	1000	20	2×4	7	4,5	2
5	2	900	15	2×6,3	7,5	8	2,5
6	2	800	15	2×16	12	23	2
7	2	1000	14	2×10	14	16	1,5
8	1	900	13	2×2,5	6,5	4	2
9	1	800	17	2×4	7,5	7	2,5
10	1,5	1000	20	2×16	10	25	1,5

### Содержание отчета:

1. Наименование работы и ее номер.
2. Цель работы.
3. Задание в соответствии с вариантом.

4. Схема сети.
5. Выполнение расчетов с приведением расчетных формул, названия величин и их размерности.
6. Выводы.

**Контрольные вопросы:**

1. Какие виды защит применяются на линиях с односторонним питанием?
2. Какие виды защит применяются для защиты линий с двухсторонним питанием?
3. Что представляет собой трехступенчатая МТЗ?
4. Как определить ток срабатывания I ступени защиты? II ступени защиты? III ступени защиты?
5. Как определить время срабатывания I ступени защиты? II ступени защиты? III ступени защиты?
6. Как определить зону действия ТО?
7. Как определить коэффициент чувствительности МТЗ?

### Практическое занятие 4

#### РАСЧЕТ УСТАВОК ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

**Цель работы:**

- научиться самостоятельно производить расчет и выбор уставок дифференциальной токовой защиты (ДТЗ) силового трансформатора.

**Материально-техническое оснащение:** методические указания к решению задачи; схемы защит силового трансформатора.

**Краткие теоретические сведения:**

Защита силовых трансформаторов должна выполняться по «Правилам устройства электроустановок» и директивным материалам Минэнерго. Выбор защиты трансформаторов зависит от мощности, назначения, места установки и эксплуатационного режима трансформаторов.

Для защиты трансформаторов при их повреждении и сигнализации о нарушениях нормальных режимов работы могут применяться следующие защиты: дифференциальная токовая защита ДТЗ, МТЗ, ТО, газовая защита, защита предохранителями.

В качестве основной быстродействующей защиты трансформаторов мощностью 6300 кВА и выше является ДТЗ, принцип действия которой основан на сравнении токов с высокой и низкой сторон трансформатора. На двух- и трехобмоточных трансформаторах без регулирования напряжения под нагрузкой обычно применяют реле серии РНТ с насыщающимися трансформаторами тока и короткозамкнутой обмоткой. Для защиты силовых трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой применяют реле серии ДЗТ.

Ток срабатывания ДТЗ находится по условиям:

- а) отстройки от бросков намагничивающего тока:

$$I_{с.з.} = K_H I_{НОМ} \tag{8}$$

б) отстройки от токов небаланса  $I_{НБ}$ :

$$I_{C.З.} = K_H I_{НБ РАСЧ.} \quad (9)$$

где  $I_{НБ РАСЧ.}$  – расчетный ток небаланса, зависящий от погрешностей ТТ, А.

$$I_{НБ.РАСЧ.} = K_A K_{ОДН} f I_{КЗ.МАХ}^3, \quad (10)$$

где  $K_A$  – коэффициент, учитывающий влияние апериодической составляющей тока КЗ, принимается равным 1 для реле с быстронасыщающимся трансформатором БНТ;

$K_{ОДН}$  – коэффициент однотипности условий работы ТТ, принимается 1;

$f$  – погрешность ТТ, удовлетворяющая 10 % - ой кратности,  $f = 0,1$ .

$I_{КЗ.МАХ}^3$  – наибольший трехфазный ток при внешнем КЗ.

Для надежной отстройки от бросков намагничивающего тока ток срабатывания реле ДЗТ устанавливают обычно в 3 - 4 раза больше номинального тока трансформатора, и в схемах ДЗТ применяются быстронасыщающиеся трансформаторы БНТ, ограничивающие бросок тока, проходящего через токовое реле.

Трансформатор БНТ служит и для компенсации неравенства вторичных токов в плечах ДЗТ, имея для этой цели уравнивательные обмотки. Для правильной настройки ДЗТ необходимо определить ток срабатывания реле:

$$I_{C.P.} = K_{CX} I_{C.З.} / K_{ТТ}, \quad (11)$$

Затем определяется расчетное число витков основной обмотки БНТ:

$$\omega_1 = 100 / I_{C.P.}, \quad (12)$$

где  $\omega_1$  – суммарное число рабочей и первой уравнивательной обмоток,

$$\omega_1 = \omega_{РАБ} + \omega_{УР};$$

100 – 100А, магнитодвижущая сила срабатывания реле РНТ-565.

Принимается ближайшее меньшее число витков.

После этого определяется число витков со стороны с меньшим вторичным током из условия, чтобы при прохождении через обмотки силового трансформатора тока внешнего КЗ ток во вторичной обмотке БНТ был равен 0. Это требование будет выполнено при равенстве нулю магнитодвижущих сил, создаваемых его обмотками:

$$I_1 \omega_1 - I_2 \omega_2 = 0 \quad (13)$$

$$\omega_2 = \omega_1 I_1 / I_2 = \omega_{РАБ} + \omega_{УР2} \quad (14)$$

$I_1$  и  $I_2$  - вторичные токи.

Ток срабатывания защиты, отстроенный от тока небаланса, сравнивается с током срабатывания, отстроенным от номинального тока и, если он получился больше, расчет числа витков обмоток БНТ повторяется. Число витков пересчитывается до тех пор, пока ток срабатывания, отстраиваемый от тока небаланса, не станет равным или меньше тока срабатывания, отстроенного от номинального тока. Затем определяется коэффициент чувствительности по формуле:

$$K_{\text{ч}} = I_{\text{КЗ.МИН}} / (I_{\text{С.З.}} \cdot K_{\text{ТТ}}) \geq 1,2 \div 1,5, \quad (15)$$

где  $I_{\text{КЗ.МИН}}$  – полный ток КЗ в зоне действия ДТЗ в минимальном режиме.

#### Методические указания:

Расчет дифференциальной токовой защиты силового двухобмоточного трансформатора выполнить по следующему алгоритму:

1. определить токи силового трансформатора на стороне высокого (ВН) и низкого (НН) напряжений –  $I_{\text{ВН}}$ ,  $I_{\text{НН}}$ ;
2. выбрать трансформаторы тока (табл. А.1 приложения А) и рассчитать их коэффициенты трансформации –  $K_{\text{I}U1}$ ,  $K_{\text{I}U2}$ ;
3. определить вторичные токи в плечах ДТЗ, соответствующие номинальной мощности трансформатора, по формулам:

$$I_{2\text{ВН}} = I_{\text{ВН}} \cdot K_{\text{СХ}} / K_{\text{I}U1} \quad (16)$$

$$I_{2\text{НН}} = I_{\text{НН}} \cdot K_{\text{СХ}} / K_{\text{I}U2} \quad (17)$$

С высокой стороны схема соединений обмоток ТТ – треугольник, с низкой – звезда.

4. определить ток небаланса  $I_{\text{НБ РАСЧ}}$  по формуле 10;
5. определить ток срабатывания защиты  $I_{\text{С.З.}}$  по условию отстройки от тока небаланса с коэффициентом надежности  $K_{\text{Н}} = 1,3$  по формуле 9;
6. определить ток срабатывания реле КА 1÷3 по формуле 11, в расчете принимать  $K_{\text{I}}$  на стороне высокого напряжения –  $K_{\text{I}U1}$ ;
7. определить число витков основной обмотки БНТ  $w_1$  по формуле 12, принять ближайшее целое число;
8. предварительно принять число витков первой уравнивающей обмотки  $w_{\text{ур1}} = w_1 \text{ расч.}$  На вторичной стороне число витков  $w_2 \text{ расч.}$  определить по формуле 14, т.е:  $w_2 \text{ расч.} = w_1 \text{ расч.} \cdot I_{2\text{ВН}} / I_{2\text{НН}}$
9. принять предварительно  $w_2 = w_{\text{ур2}}$  - округление числа витков производить в большую сторону;
10. уточнить ток небаланса:

$$I_{\text{НБ РАСЧ}}^* = (w_1 \text{ расч.} - w_1) \cdot I_{\text{КЗ макс}}^3 / w_1 \text{ расч.} \quad (18)$$

11. рассчитать суммарный ток небаланса:

$$I_{\text{НБ}} = I_{\text{НБ РАСЧ}} + I_{\text{НБ РАСЧ}}^* \quad (19)$$

12. уточнить ток срабатывания защиты и реле по формулам 9 и 11, для реле принять целое число;

13. определить коэффициент чувствительности защиты:

$$K_{\text{ч}} = I_{\text{КЗ} \text{ min}}^2 / (I_{\text{С.Р.}} \cdot K_{\text{I U1}}) \quad (20)$$

Коэффициент чувствительности защиты должен быть не менее 1,5.

**Задание:**

Рассчитать дифференциальную токовую защиту двухобмоточного трансформатора мощностью  $S$  МВА. Напряжение трансформатора  $U_1 / U_2$ . Исходная схема в однолинейном исполнении приведена на рисунке 15; схема ДТЗ на рисунке 16. Максимальный ток трехфазного К.З. на шинах  $U_2$  -  $I_{\text{КЗ.МАХ}}^3$ . Минимальный ток аномального режима -  $I_{\text{КЗ.МИН}}$ . Исходные данные по вариантам приведены в табл. 6.

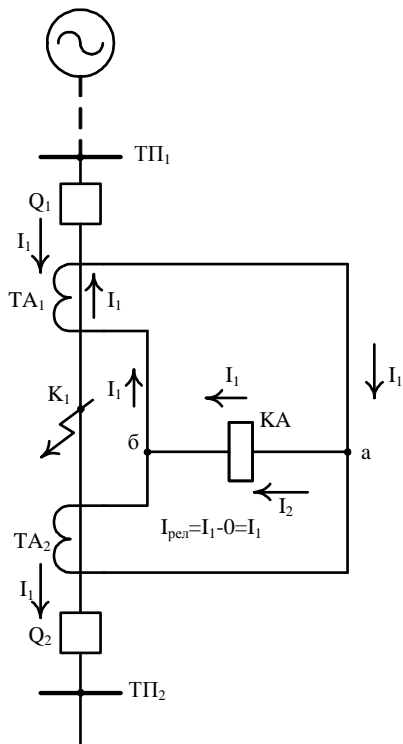


Рисунок 15 - Однолинейная схема

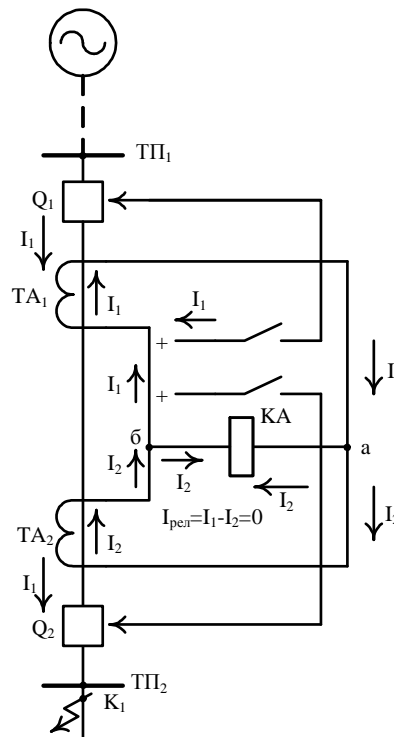


Рисунок 16 - Схема ДТЗ

Таблица 6 - Исходные данные для решения задачи

№ варианта	Напряжение трансформатора, $U_1 / U_2$ , кВ	Мощность трансформатора, $S_{\text{ТР}}$ , мВА	Максимальный ток трехфазного К.З. $I_{\text{КЗ.МАХ}}^3$ , А	Минимальный ток трехфазного К.З. $I_{\text{КЗ.МИН}}$ , А
1	115/11	10	940	920
2	115/11	16	840	820
3	115/11	25	860	840
4	115/11	16	1200	1100
5	115/11	25	1300	1100
6	37/6,3	4	820	800
7	37/6,3	6,3	840	820
8	37/6,3	10	1000	980
9	37/6,3	6,3	1100	1000
10	37/6,3	10	1200	1100

### **Содержание отчета:**

1. Наименование работы и ее номер.
2. Цель работы.
3. Задание в соответствии с вариантом.
4. Схема ДТЗ.
5. Выполнение расчетов с приведением расчетных формул, названия величин и их размерности.
6. Выводы.

### **Контрольные вопросы:**

1. От чего зависит выбор защит силового трансформатора?
2. Какие защиты применяются на трансформаторе?
3. На чем основан принцип действия ДТЗ?
4. Где находится зона действия ДТЗ?
5. Чему равен ток срабатывания ДТЗ силового трансформатора?

## **Лабораторное занятие 4**

### **ИЗУЧЕНИЕ СХЕМЫ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ. РАСЧЕТ УСТАВОК ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ**

#### **Цель работы:**

- изучить принципиальную электрическую схему защиты двигателя от перегрузки;
- закрепить навыки расчета уставки защиты от перегрузки.

**Материально-техническое оснащение:** лабораторный стенд, имитирующий защиту электродвигателя от перегрузки; методические указания по выполнению работы.

#### **Краткие теоретические сведения:**

Защита от перегрузки устанавливается на электродвигателях, которые могут подвергаться перегрузке по технологическим причинам, и для электродвигателей с особо тяжелыми условиями пуска и самозапуска с длительностью прямого пуска от 20 сек и более.

Установка защиты предусматривается в одной фазе. Защита от перегрузки выполняется с действием на отключение при возможности неуспешного пуска, невозможности разгрузки без останова двигателя, отсутствии постоянного дежурного персонала. При возможности автоматической разгрузки защиты выполняются с двумя выдержками времени, с меньшей - на разгрузку механизма, с большей - на отключение. В остальных предусматривается действие на сигнал.

Стенд «Имитация защиты асинхронного электродвигателя от перегрузки» (рисунок 17) состоит из следующих составных частей:

1. автоматический выключатель серии АЕ, который имитирует вводной выключатель, а также включающий оперативный ток в цепях управления. На схеме выключатель обозначен QF;

2. пускатель, который имитирует выключатель нагрузки (масляный, вакуумный), выключающий непосредственно электродвигатель. На схеме обозначен – КМ;

3. щитовой амперметр, имитирующий амперметр, включенный через трансформатор тока в зависимости от нагрузки (100/5, 500/5, 1000/5). На схеме он обозначен РА;

4. токовое реле РТ-40, которое имитирует токовое реле, включенное через трансформатор тока. На схеме имеет обозначение КА;

5. трансформатор силовой 160ВА 220/42 , имитирующий асинхронный двигатель, На схеме – Т;

6. промежуточное реле РП-25 служит для размножения сигналов. На схеме – КЛ;

7. реле времени РВ-247 служит для выдержки времени на срабатывание защиты. На схеме обозначено КТ;

8. сигнальные лампы имитируют контроль напряжения. На схеме они обозначены - HLR1, HLR2, HLR3;

9. кнопки *пуск* и *стоп* имитируют ключ управления выключателя нагрузки. На схеме - SBC и SBT;

10. клеммник. На схеме –ХІ;

11. лампы накаливания HL1, HL2 - имитируют нагрузку.

#### **Методические указания:**

Ток срабатывания защиты  $I_{С.З.}$ , А выбирается по условию отстройки от номинального тока электродвигателя:

$$I_{С.З.} = K_H \cdot I_{НОМ} \quad (21)$$

Чувствительность защиты от перегрузки не проверяется, поскольку защита не предназначена для действия при коротком замыкании.

Выдержка времени выбирается из условия надежного несрабатывания при пуске или самозапуске двигателей по выражению

$$t_{С.З.} \geq K_{ОТСТР} \cdot t_{ПУСК} \quad (22)$$

где  $K_{ОТСТР}$  – коэффициент отстройки, равный 1,2 ÷ 1,3;

$t_{ПУСК}$  – время пуска электродвигателей.



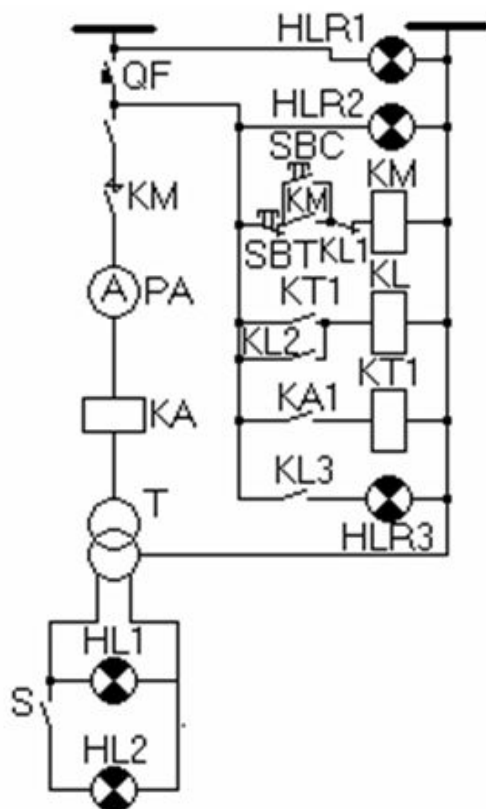


Рисунок 17 - Принципиальная электрическая схема стенда

### Описание работы стенда:

При подаче напряжения на клемму XI загорается лампа HLR1.

При включении автоматического выключателя QF подается напряжение на пускатель KM, загорается сигнальная лампа HLR2.

При нажатии кнопки пуск SBC включается пускатель KM. Напряжение подается на трансформатор T. Загорается лампа HL1. Амперметр показывает ток нагрузки трансформатора. Этот же ток нагрузки проходит через токовую обмотку токового реле KA.

В первоначальный момент ток нагрузки превышает уставку токового реле, и контакты токового реле включают реле времени KT, которое срабатывает. Ток нагрузки падает, токовое реле возвращается, и реле времени обесточивается, не успев сработать.

При включении дополнительной нагрузки - лампы накаливания HL2- ток нагрузки превышает уставку токового реле KA, включается реле времени KT и через время, заданное уставкой, размыкающие контакты KL1 выключают магнитный пускатель KM.

Размыкающим контактом KL1 отключается пускатель KM. Замыкающим контактом KL2 промежуточное реле KL встает на самоподхват. Замыкающим контактом KL3 включается сигнальная лампа HLR3, которая указывает, что сработала максимальная токовая защита. Кнопкой стоп SBT можно отключить магнитный пускатель.

### Задание:

1. изучить краткие теоретические сведения и методические указания;

2. выписать в отчет электрооборудование, расположенное на стенде, с указанием типов аппаратов и их назначения;
3. измерить ток, потребляемый электродвигателем. Для этого:
  - 3.1. включить автомат QF;
  - 3.2. нажать на кнопку SBC;
  - 3.3. снять показания амперметра. Данные занести в таблицу 5;
  - 3.4. создать режим перегрузки, включив выключатель S;
  - 3.5. измерить ток срабатывания защиты электродвигателя от перегрузки и время срабатывания защиты. Данные занести в таблицу 7;
4. рассчитать уставки срабатывания защиты "электродвигателя" от перегрузки
5. сделать выводы по работе. Оформить отчет.

Таблица 7 – Полученные результаты

Опытные данные		Расчетные данные
Нормальный режим	Режим перегрузки	
$I_{\text{НАГР}} =$	$I_{\text{ОТКЛ}} =$ $t_{\text{ОТКЛ}} =$	

**Содержание отчета:**

1. Наименование работы и её номер.
2. Цель работы.
3. Материально-техническое обеспечение.
4. Принципиальная электрическая схема стенда.
5. Заполненная таблица 7 с выполненными расчетами, с приведением расчетных формул, названия величин и их размерности.
6. Выводы.

**Контрольные вопросы:**

1. На каких электродвигателях применяется защита от перегрузки?
2. Как выбирается ток срабатывания защиты от перегрузки?
3. Опишите работу стенда.

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Мухамадуллин И.М., Сибгатуллин Э.Г. Лабораторные работы по дисциплинам «Автоматизация управления систем электроснабжения» и «Электрические и электронные аппараты». – Казань: КГЭУ, 2008.
2. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
3. Правила устройства электроустановок. 7 изд. – М.: Энергоатомиздат, 2001.
4. Беркович М.А., Молчанов В.В., Семенов В.А. Основы техники релейной защиты, – М.: Энергоатомиздат, 1984.
5. Шабад М.А. Расчёты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – Л.: Энергоатомиздат, 1984.
6. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

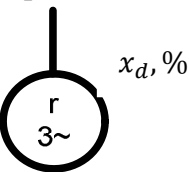

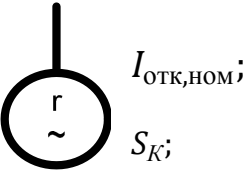

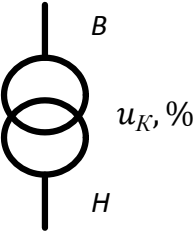
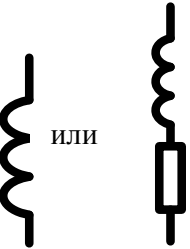
Таблица А.1 – Основные номинальные параметры трансформаторов тока

Номинальное напряжение (линейное) $U_{НОМ}$ , кВ	0,66; 3; 6; 10; 15; 20; 24; 27; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750
Номинальный первичный ток, $I_1_{НОМ}$ , А	1; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50; 75; 80; 100; 150; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1500; 2000; 3000; 4000; 5000; 6000 и т.д.
Номинальный вторичный ток, $I_2_{НОМ}$ , А	1; 5
Номинальная вторичная нагрузка с коэффициентом мощности $\cos \varphi = 0,8$ , ВА	2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 100
Номинальный класс точности для измерений	0,2; 0,5; 1; 3; 5; 10
Номинальный класс точности для защиты	5P; 10P

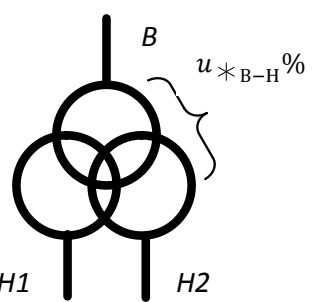
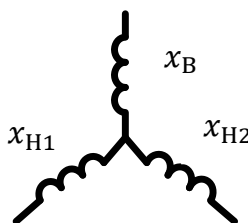
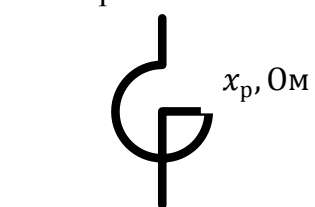
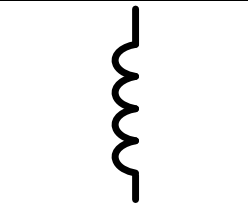
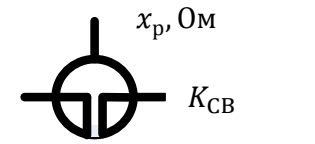
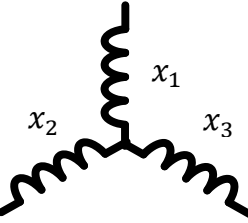
Таблица А.2 – Технические данные реле РТ – 40

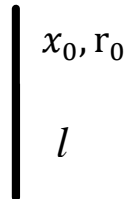

Реле	Диапазон уставок, А	Соединение катушек						Потребляемая мощность при токе мин. уставки, ВА
		последовательное			параллельное			
		ток срабаты- вания, А	термическая стойкость, А		ток срабаты- вания, А	термическая стойкость, А		
длитель- тель- ность	в теч.1 сек		длитель- тель- ность	в теч.1 сек				
РТ-40/0,2	0,05-0,2	0,05-0,1	0,55	15	0,1-0,2	1,1	30	0,2
РТ-40/0,6	0,15-0,6	0,15-0,3	1,75	50	0,3-0,6	3,5	100	0,2
РТ-40/2	0,5-2	0,5-1	4,15	100	1-2	8,3	200	0,2
РТ-40/6	1,5-6	1,5-3	11	300	3-6	22	600	0,5
РТ-40/10	2,5-10	2,5-5	17	400	5-10	34	800	0,5
РТ-40/20	5-20	5-10	19	400	10-20	38	800	0,5
РТ-40/50	12,5-50	12,5-25	27	500	25-50	54	1000	0,8
РТ-40/100	25-100	25-50	27	500	50-100	54	1000	1,8
РТ-40/200	50-200	50-100	27	500	100-200	54	1000	8

Расчетные формулы для определения сопротивлений

Элемент электроустановки, его схема и исходный параметр	Схема замещения	Расчетные формулы	
		Именованные единицы, Ом	Относительные единицы
<p>Генератор</p> 		$x = \frac{x_d \%}{100} \frac{U_6^2}{S_{\text{НОМ}}}$	$x_* = \frac{x_d \%}{100} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}$
<p>Энергосистема</p> 		$x = \frac{U_6^2}{\sqrt{3} I_{\text{отк, ном}} U_{\text{ср}}}$ <p>или</p> $x = \frac{U_6^2}{S_K}$ <p>или</p> $x = x_{*с, \text{НОМ}} \frac{U_6^2}{S_K}$	$x_* = \frac{S_6}{\sqrt{3} I_{\text{отк, ном}} U_{\text{ср}}}$ <p>или</p> $x_* = \frac{S_6}{S_K}$ <p>или</p> $x_* = x_{*с, \text{НОМ}} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}$
<p>Двухобмоточный трансформатор</p> 		$x = \frac{u_K \%}{100} \frac{U_6^2}{S_{\text{НОМ}}}$	$x_* = \frac{u_K \%}{100} \frac{S_6}{S_{\text{НОМ}}}$
С учетом активного сопротивления			

Элемент электроустановки, его схема и исходный параметр	Схема замещения	Расчетные формулы	
		Именованные единицы, Ом	Относительные единицы
		$r = \frac{P_K U_6^2 10^{-3}}{S_{НОМ}^2}$ $x = \sqrt{u_{*К}^2 - \left(\frac{P_K}{S_{НОМ}}\right)^2} \frac{U_6^2}{S_{НОМ}}$	$r_* = \frac{P_K S_6 10^{-3}}{S_{НОМ}^2}$ $x_* = \sqrt{u_{*К}^2 - \left(\frac{P_K}{S_{НОМ}}\right)^2} \frac{S_6}{S_{НОМ}}$
<p>Трехобмоточный трансформатор и автотрансформатор</p>	$x_B = \frac{0,5 (u_{KB-H}\% + u_{KB-C}\% - u_{KC-H}\%) U_6^2}{100 S_{НОМ}}$ $x_C = \frac{0,5 (u_{KB-C}\% + u_{KC-H}\% - u_{KB-H}\%) U_6^2}{100 S_{НОМ}}$ $x_H = \frac{0,5 (u_{KB-H}\% + u_{KC-H}\% - u_{KB-C}\%) U_6^2}{100 S_{НОМ}}$	$x_{*B} = \frac{0,5 (u_{KB-H}\% + u_{KB-C}\% - u_{KC-H}\%) S_6}{100 S_{НОМ}}$ $x_{*C} = \frac{0,5 (u_{KB-C}\% + u_{KC-H}\% - u_{KB-H}\%) S_6}{100 S_{НОМ}}$ $x_{*H} = \frac{0,5 (u_{KB-H}\% + u_{KC-H}\% - u_{KB-C}\%) S_6}{100 S_{НОМ}}$	

Элемент электроустановки, его схема и исходный параметр	Схема замещения	Расчетные формулы	
		Именованные единицы, Ом	Относительные единицы
<p>Трехфазный трансформатор с расщепленной обмоткой НН</p> 		$x_B = \frac{0,125 u_{KB-H}\%}{100} \frac{U_6^2}{S_{НОМ}}$ $x_{H1} = x_{H2} = \frac{0,75 u_{KB-H}\%}{100} \frac{U_6^2}{S_{НОМ}}$	$x_{*B} = \frac{0,125 u_{KB-H}\%}{100} \frac{S_6}{S_{НОМ}}$ $x_{*H1} = x_{*H2} = \frac{0,75 u_{KB-H}\%}{100} \frac{S_6}{S_{НОМ}}$
<p>Реактор</p> 		$x = x_P \frac{U_6^2}{U_{cp}^2}$	$x_* = x_P \frac{S_6}{U_{cp}^2}$
<p>Сдвоенный реактор</p> 		$x_1 = -x_P k_{CB} \frac{U_6^2}{U_{cp}^2}$ $x_2 = x_3 = x_P (1 + k_{CB}) \frac{U_6^2}{U_{cp}^2}$	$x_{*1} = -x_P k_{CB} \frac{S_6}{U_{cp}^2}$ $x_{*1} = x_{*2} = x_P (1 + k_{CB}) \frac{S_6}{U_{cp}^2}$

Элемент электроустановки, его схема и исходный параметр	Схема замещения	Расчетные формулы	
		Именованные единицы, Ом	Относительные единицы
Линия 		$x = x_0 l \frac{U_6^2}{U_{cp}^2}$ $r = r_0 l \frac{U_6^2}{U_{cp}^2}$	$x_* = x_0 l \frac{S_6}{U_{cp}^2}$ $r_* = r_0 l \frac{S_6}{U_{cp}^2}$

Примечание:

$S_{ном}$  - номинальные мощности элементов (генератора, трансформатора, энергосистемы), МВ·А;

$S_6$  - базовая мощность, МВ·А;

$S_K$  - мощность КЗ энергосистемы, МВ·А;

$I_{отк.ном}$  - номинальный ток отключения выключателя, кА;

$x_{*с,ном}$  - относительное номинальное сопротивление энергосистемы;

$u_k$  - напряжение КЗ трансформатора, %;

$x_p$  - сопротивление реактора, Ом;

$P_K$  - потери КЗ трансформатора, кВт;

$r_0, x_0$  - активное и индуктивное сопротивления линии на 1 км длины, Ом/км;

$l$  - длина линии, км;

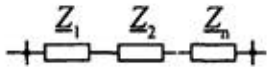
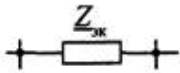
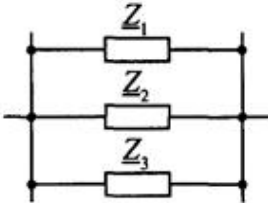
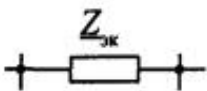
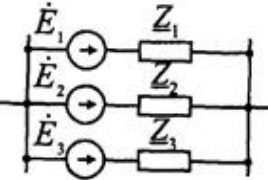
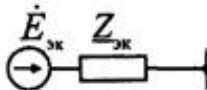
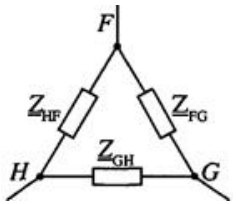
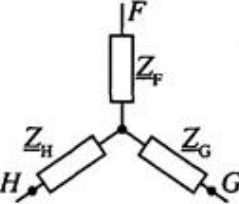
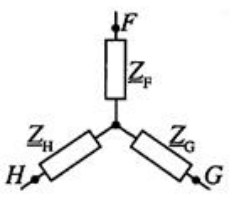
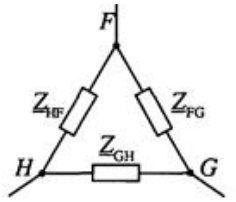
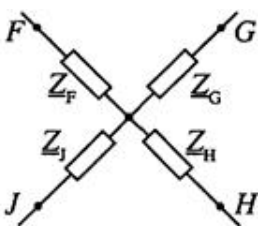
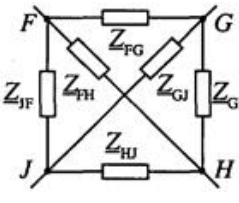
$U_6$  - базовое напряжение, кВ;

$U_{cp}$  - среднее напряжение в месте установки данного элемента, кВ;

$x_d$  - сверхпереходное индуктивное сопротивление генератора, %.



Основные формулы преобразования схем

Вид преобразования	Исходная схема	Преобразованная схема	Сопротивление элементов преобразованной схемы
Последовательное соединение			$\underline{Z}_{эк} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \dots + \underline{Z}_n$
Параллельное соединение			$\underline{Z}_{эк} = \frac{1}{\underline{Y}_{эк}}$ <p>где</p> $\underline{Y}_{эк} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \dots + \underline{Y}_n$ $\underline{Y}_1 = \frac{1}{\underline{Z}_1}; \quad \underline{Y}_2 = \frac{1}{\underline{Z}_2};$ $\underline{Y}_n = \frac{1}{\underline{Z}_n}$ $\underline{Z}_{эк} = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$
Замена нескольких источников эквивалентным			$\dot{E}_{эк} = \frac{1}{\underline{Y}_{эк}} \sum_{K=1}^n \underline{Y}_K \dot{E}_K$ <p>При двух ветвях</p> $\dot{E}_{эк} = \frac{\dot{E}_1 \underline{Z}_2 + \dot{E}_2 \underline{Z}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$
Преобразование треугольника в звезду			$\underline{Z}_F = \frac{\underline{Z}_{FG} \underline{Z}_{HF}}{\underline{Z}_{FG} + \underline{Z}_{GH} + \underline{Z}_{HF}}$ $\underline{Z}_G = \frac{\underline{Z}_{FG} \underline{Z}_{GH}}{\underline{Z}_{FG} + \underline{Z}_{GH} + \underline{Z}_{HF}}$ $\underline{Z}_H = \frac{\underline{Z}_{GH} \underline{Z}_{HF}}{\underline{Z}_{FG} + \underline{Z}_{GH} + \underline{Z}_{HF}}$
Преобразование трехлучевой звезды в треугольник			$\underline{Z}_{FG} = \underline{Z}_F + \underline{Z}_G + \frac{\underline{Z}_F \underline{Z}_G}{\underline{Z}_H}$ $\underline{Z}_{GH} = \underline{Z}_G + \underline{Z}_H + \frac{\underline{Z}_G \underline{Z}_H}{\underline{Z}_F}$ $\underline{Z}_{HF} = \underline{Z}_H + \underline{Z}_F + \frac{\underline{Z}_H \underline{Z}_F}{\underline{Z}_G}$
Преобразование многолучевой звезды в полный многоугольник			$\underline{Z}_{FG} = \underline{Z}_F \underline{Z}_G \Sigma \underline{Y}$ $\underline{Z}_{GH} = \underline{Z}_G \underline{Z}_H \Sigma \underline{Y}$ <p>.....,</p> <p>где <math>\Sigma \underline{Y} = \underline{Y}_F + \underline{Y}_G + \underline{Y}_H + \underline{Y}_J</math></p> <p>Аналогично и при большем числе ветвей</p>

Значения постоянной времени затухания апериодической составляющей тока  
КЗ и ударного коэффициента

Место КЗ	$T_a$	$k_y$
Выводы явнополюсного гидрогенератора:		
без успокоительной обмотки	0,2	1,95
с успокоительной обмоткой	0,13	1,93
Выводы турбогенератора, МВт:		
12 - 60	0,16 – 0,25	1,94-1,955
100 – 1000	0,4 – 0,54	1,975-1,98
За блоком генератор-трансформатор при мощности генератора, МВт:		
60	0,15	1,935
100 – 200	0,26	1,965
300	0,32	1,977
За воздушными линиями напряжением, кВ:		
35 – 110	0,22	1,608
220	0,03	1,717
За понижающим трансформатором мощно- стью, МВ·А		
80	0,06	1,85
32 – 63	0,05	1,82
менее 32	0,045	1,8
Распределительные сети 6 – 10кВ	0,01	1,369

Значения коэффициентов  $k_y$  и  $q$  зависимости от места КЗ

Место короткого замыкания	Коэффициенты	
	$k_y$	$q$
Выводы явнополюсного гидрогенератора:		
без успокоительной обмотки	1,95	1,68
с успокоительной обмоткой	1,93	1,65
Выводы турбогенератора	1,91	1,63
В цепи без учета активного сопротивления	1,8	1,52
На стороне НН трансформатора, кВ·А		
630 – 1000	1,3	-
100 – 400	1,2	1,09

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Перечень лабораторно-практических занятий .....	4
Практическое занятие 1.....	5
Лабораторное занятие 1 .....	10
Лабораторная занятия 2 .....	13
Лабораторная занятия 3 .....	17
Практическое занятие 2 .....	20
Практическое занятие 3 .....	24
Практическое занятие 4 .....	27
Лабораторная занятия 4 .....	31
Информационное обеспечение .....	35
Приложения .....	36