

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта



Разрешение на допуск к  
зашите

Заведующий кафедрой  
д.т.н., проф. Амиров С.Ф.

*Амиров С.Ф.* «11» 06 2018 г.

Кафедра: «Электроснабжение железных дорог».

Тема: «Микропроцессорная защита электроустановок тяговой подстанции»

**Выпускная квалификационная работа**

Выполнил: Катянов Е.Д. *Е.Д. Катянов*

Руководитель: Турдибеков К.Х. *К.Х. Турдибеков*

Консультант по экономической части:

Атаджанова З.С. *З.С. Атаджанова*

Консультант по охране труда:

Криворучко Б. В. *Б. В. Криворучко*

Рецензент: Гайибов Т.Ш. *Т.Ш. Гайибов*

Ташкент- 2018

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта  
Электромеханический факультет, кафедра "ЭЖД"  
направление Электроэнергетика группа ЕТ - 607

**Задание для выпускной квалификационной работы**

Студент: Катянов Егор Дмитриевич \_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

**1. Тема выпускной работы:**

«Микропроцессорная защита электроустановок тяговой подстанции» 12 декабря 2017г. утверждена на заседании кафедры.

**2. Дата сдачи выпускной работы: 12.06.18– 27.06.18.**

**3. Основные сведения по выполнению выпускной работы** Тип контактной подвески: ПБСМ-95+МФ-100+Р65; длина межподстанционной зоны(МПЗ):  $L=46$  км; трансформатор: ТДТНЖ-40000/110/27,5/10; мощность короткого замыкания:  $S_{kz\ min}=700$  МВА;  $S_{kz\ max}=1000$  МВА; защищаемый фидер – ФКС1; номинальный ток фидера  $I_{n\ max}$ : ФКС1,2 - 800 А, ФКС3 - 450 А, ФКС4,5 - 500 А, ФКС6,7-600А.

**4. Порядок расчета, содержания пояснительной записи (перечень выполняемых задач)**

Электронная защита УЭЗФМ, расчет уставок релейных защит фидера контактной сети тяговой подстанции, расчет тока уставки токовой блокировки, расчет уставки срабатывания максимально токовой защиты фидера контактной сети (МПЗ), защита трансформаторов.

**5. Список чертёжных работ (указать точное название чертежей)**

Слайд 1. Обобщенная структурная схема микропроцессорной релейной защиты

Слайд 2. Расчет уставки срабатывания максимально токовой защиты фидера контактной сети (МПЗ)

Слайд 3. Защита трансформаторов

Слайд 4. Блок БМРЗ-ФВВ

Слайд 5. Блок БМРЗ-ТП-ВВ

Слайд 6. Блок БМРЗ-ТСП

**6. Консультанты выпускной квалификационной работы:**

№	Раздел выпускной работы	Ф.И.О. Консультантов	Подпись, дата	
			Задание выдано	Задание выполнено
1.	Экономическая часть:	Атаджанова З.С.	12.04.2018г. <i>Атаджанова</i>	15.05.2018г. <i>Макеев</i>
2.	Охрана труда:	Криворучко Б.В.	18.04.2018г. <i>Криворучко</i>	29.05.2018г. <i>Б.В.Криворучко</i>

**7. План выполнения выпускной работы**

№	Название этапов выпускной работы	Срок выполнения (дата)	Отметка о прохождении проверки
1	Введение	15.12.2017- 28.12.2017	<i>6.Макеев</i>
2	Задачи тягового электроснабжения	29.12.2017- 10.01.2018	<i>6.Макеев</i>
3	Современное состояние релейной защиты электрооборудования тягового электроснабжения. Микропроцессорные защиты	11.01.2018- 20.01.2018	<i>6.Макеев</i>
4	Расчет тока уставки токовой блокировки	23.01.2017- 05.02.2018	<i>6.Макеев</i>
5	Электронная защита УЭЗФМ	08.02.2018- 22.02.2018	<i>6.Макеев</i>
6	Основные понятия и комплекты релейной защиты	23.02.2018- 07.03.2018	<i>6.Макеев</i>
7	Расчет уставки срабатывания максимально токовой защиты фидера контактной сети (МТЗ)	09.03.2018- 26.03.2018	<i>6.Макеев</i>
8	Исследование условий для замены релейной защиты УЭЗФМ-ФКС-27.5 на 1ЦА-ФКС-27.5 на тяговой подстанции	27.03.2018- 24.04.2018	<i>6.Макеев</i>
9	Особенности защиты трансформаторов	25.04.2018- 04.05.2018	<i>6.Макеев</i>
10	Экономическая часть	05.05.2018- 15.05.2018	<i>Атаджанова</i>
11	Охрана труда, заключение	16.05.2018- 29.05.2018	<i>Б.В.Криворучко</i>

Руководитель выпускной работы Турдибеков К.Х (фамилия, имя, отчество) *6.Макеев* (подпись)

Получил задание для выполнения Катянов Е.Д. (фамилия, имя, отчество) *Е.Д.Катянов* (подпись)

Дата выдачи задания 14.12.2017 год

## Отзыв

руководителя выпускной работы студента бакалавриата группы ЕТ – 607 Катянова Е.Д. на тему: «Микропроцессорная защита электроустановок тяговой подстанции».

В системах электроснабжения возникают ненормальные режимы работы, такие как короткие замыкания (К.З.) и перегрузки, которые характеризуются протеканием по электрооборудованию токов, превышающих длительно допустимое значение. Перегрузки опасны в следствии чрезмерного повышения температуры токоведущих частей и преждевременного старения изоляции. Снижение или увеличение напряжения относительно предельных нормативных значений в энергосистеме также являются проявлением ненормальных режимов.

В выпускной квалификационной работе дано современное состояние микропроцессорной защиты электрооборудования тяговой подстанции, произведены расчеты релейных защит фидера контактной сети тяговой подстанции и тока уставки токовой блокировки, исследование условий для замены релейной защиты УЭЗФМ – ФКС – 27,5 на ЦЗА – ФКС – 27,5 на тяговой подстанции и также особенности защиты трансформаторов.

Далее в выпускной работе приведена экономическая часть и охрана труда.

Выпускная квалификационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к дипломным работам, а сам соискатель Катянов Е.Д. заслуживает присвоения звания «Бакалавр» по направлению «Электроэнергетика» (на железнодорожном транспорте).

Руководитель

Турдибеков К.Х.



## Рецензия

на выпускную работу студента группы ЕТ – 607 Катянова Е.Д. на тему: «Микропроцессорная защита электроустановок тяговой подстанции».

Основной задачей системы тягового электроснабжения является обеспечение эксплуатационной работы железной дороги.

Эта задача может быть решена только при правильно выбранных параметрах системы электроснабжения, т.е. обеспечивающих работу оборудования в допустимых для него пределах по нагрузки. Недопустимое увеличение нагрузки может привести к выходу из строя. Следовательно, оборудование должно работать бесперебойно в течение времени.

В связи с этим в системе электроснабжения применяют релейную защиту, которая обеспечивает бесперебойную работу тягового электроснабжения.

В выпускной квалификационной работе дано современное состояние микропроцессорной защиты электрооборудования тяговой подстанции, произведены расчеты релейных защит фидера контактной сети тяговой подстанции и тока уставки токовой блокировки, исследование условий для замены релейной защиты УЭЗФМ – ФКС – 27,5 на ЦЗА – ФКС – 27,5 на тяговой подстанции и также особенности защиты трансформаторов.

Далее в выпускной работе приведена экономическая часть и охрана труда.

Выпускная квалификационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к дипломным работам, а сам соискатель Катянов Е.Д. заслуживает присвоения звания «Бакалавр» по направлению «Электроэнергетика» (на железнодорожном транспорте).

## Рецензент

зав.каф.

«электрические станции, сети и системы»

д.т.н., профессор



Гайибов Т.Ш.

**Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта**



Разрешение на  
допуск к защите

Заведующий кафедрой  
д.т.н., проф. Амиров С.Ф.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Кафедра: Электроснабжение железных дорог

Тема: «**Микропроцессорная защита электроустановок тяговой подстанции**»

**Выпускная квалификационная работа**

Выполнил: Катянов Е.Д.

Руководитель: Турдибеков К.Х.

Консультант по экономической части:

Атажанова З.С.

Консультант по охране труда:

Криворучко Б.В.

Рецензент: Гайибов Т.Ш.

Ташкент- 2018

**Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта  
Электромеханический факультет, кафедра “ЭСЖД”  
направление Электроэнергетика группа ЕТ - 607**

**Задание для выпускной квалификационной работы**

Студент: Катянов Егор Дмитриевич  
(фамилия, имя, отчество)

**1. Тема выпускной работы:**

«Микропроцессорная защита электроустановок тяговой подстанции»

12 декабря 2017г. утверждено на заседании кафедры.

**2. Дата сдачи выпускной работы: 12.06.18-27.06.18.**

**3. Основные сведения по выполнению выпускной работы** *Тип контактной подвески: ПБСМ-95 +МФ-100+Р65; длина межподстанционной зоны (МПЗ):  $L=46$  км; трансформатор: ТДТНЖ-40000/110/27,5/10; мощность короткого замыкания:  $S_{kz\ min}=700MVA$ ;  $S_{kz\ max}=1000MVA$ ; защищаемый фидер - ФКС1; номинальный ток фидера  $I_{n\ max}$ : ФКС1,2 -800A, ФКС3 -450A, ФКС4,5 -500A, ФКС6,7 -600A.*

**4. Порядок расчета, содержания пояснительной записи (перечень выполняемых задач)**

Электронная защита УЭЗФМ, расчет уставок релейных защит фидера контактной сети тяговой подстанции, расчет тока уставки токовой блокировки, расчет уставки срабатывания максимально токовой защиты фидера контактной сети (МТЗ), защита трансформаторов.

**5. Список чертёжных работ (указать точное название чертежей)**

Слайд 1. Обобщенная структурная схема микропроцессорной релейной защиты

Слайд 2. Расчет уставки срабатывания максимально токовой защиты фидера контактной сети (МТЗ)

Слайд 3. Защита трансформаторов

Слайд 4. Блок БМРЗ-ФВВ

Слайд 5. Блок БМРЗ-ТП-ВВ

Слайд 6. Блок БМРЗ-ТСП

## 6. Консультанты выпускной квалификационной работы

№	Раздел выпускной работы	Ф.И.О. Консультант	Подпись, дата	
			Задание выдано	Задание выполнено
1.	Экономическая часть:	Атажанова З.С.	14.05.2018	22.05.2018
2.	Охрана труда:	Криворучко Б.В.	23.05.2018	30.05.2018

## 7. План выполнения выпускной работы

№	Название этапов выпускной работы	Срок выполнения (дата)	Отметка прохождение проверки
1	Введение .	15.12.2017- 28.12.2017	
2	Задачи тягового электроснабжения	29.12.2018- 10.01.2018	
3	Современное состояние релейной защиты электрооборудования тягового электроснабжения. Микропроцессорные защиты	11.01.2018- 20.01.2018	
4	Расчет тока уставки токовой блокировки	23.01.2018- 05.02.2018	
5	Электронная защита УЭЗФМ	08.02.2018- 22.02.2018	
6	Основные понятия и комплекты релейной защиты	23.02.2018- 07.03.2018	
7	Расчет уставки срабатывания максимально токовой защиты фидера контактной сети (МТЗ)	09.03.2018- 26.03.2018	
8	Исследование условий для замены релейной защиты УЭЗФМ-ФКС-27,5 на ЦЗА-ФКС-27,5 на тяговой подстанции	27.03.2018- 24.04.2018	
9	Особенности защиты трансформаторов	25.04.2018- 04.05.2018	
10	Экономическая часть	05.05.2018- 15.05.2018	
11	Охрана труда, заключение	16.05.2018- 29.05.2018	

Руководитель выпускной работы Турдибеков К.Х.

(фамилия, имя, отчество) (подпись)

Получил задание для выполнения Катянов Е.Д.

(фамилия, имя, отчество) (подпись)

Дата выдачи задания 14.12.2017 год.

## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>I Основная часть .....</b>	<b>6</b>
1.1 Задачи тягового электроснабжения .....	6
1.2 Основные понятия и комплекты релейной защиты .....	8
1.3 Основные виды релейной защиты.....	12
1.4 Современное состояние релейной защиты электрооборудования тягового электроснабжения. Микропроцессорные защиты .....	19
1.5 Электронная защита УЭЗФМ .....	25
1.6 Расчет уставок релейных защит фидера контактной сети тяговой подстанции. .....	28
1.6.1 Расчет параметров тяговой подстанции .....	29
1.6.2 Расчет тока уставки токовой блокировки.....	31
1.6.3 Расчет уставки срабатывания максимально токовой защиты фидера контактной сети (МТЗ).....	34
1.7 Исследование условий для замены релейной защиты УЭЗФМ-ФКС-27,5 на ЦЗА-ФКС-27,5 на тяговой подстанции .....	37
1.8 Особенности защиты трансформаторов .....	38
1.9 Требования к устройствам электроснабжения по безопасности движения электрифицированных железных дорог .....	53
<b>II Экономическая часть.....</b>	<b>59</b>
2.1 Расчет экономической эффективности от внедрения релейной защиты ЦЗА-27,5-ФКС тяговой подстанции. Расчет затрат на установку и эксплуатацию ЦЗА-27,5 .....	59
<b>III Охрана труда .....</b>	<b>64</b>
3.1 Расчет заземляющего устройства .....	64
<b>Заключение.....</b>	<b>69</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>70</b>

## **Введение**

В соответствии с программой «Развитие скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта и стратегии по пяти приоритетным направлениям в Республике Узбекистан» ведется строительство электрифицированных высокоскоростных линий железных дорог с эксплуатационными скоростями 200 – 250 км/час, что сократит продолжительность поездки и увеличит пропускную способность железных дорог.

Президент Узбекистана Шавкат Мирзиёев своим указом от 7 февраля 2017 года утвердил Стратегию действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах, которая представляет собой программу развития страны на ближайшие пять лет [1]. В разделе приоритетов по развитию экономики и промышленного производства указывается, что одним из направлений развития является «....проведение активной инвестиционной политики, направленной на модернизацию, техническое и технологическое обновление производства, реализацию проектов производственной, транспортно-коммуникационной и социальной инфраструктуры....». Поэтому разработка проектов технически и экономически эффективных производственных структур в сфере электроснабжения электрифицированных железных дорог является очень актуальной.

Энергопотребление при высокоскоростном движении поездов достигает существенных величин.

В связи с этим встают вопросы возникновения ненормальных режимов и повреждений изоляции.

К ненормальным режимам относятся перегрузки токами выше установленных допустимых значений, последствия повреждений изоляции, которые ведут к возникновению коротких замыканий (К.З.), опасные для электрооборудования тяговых подстанций.

Во избежание развития аварий при К.З. и уменьшению вероятности перерыва в электроснабжении, применяют специальные устройства, называемые релейной защитой, которые обеспечивают быстрое автоматическое отключение повреждённого элемента электрооборудования путём воздействия на отключающее устройство выключателя присоединения, где находится повреждённый элемент.

При возникновении ненормального режима работы релейная защита должна действовать (в зависимости от характера ненормального режима) или на сигнал для привлечения внимания обслуживающего персонала и принятия ими необходимых мер, или на отключение с некоторой выдержкой времени или мгновенно.

# I Основная часть

## 1.1 Задачи тягового электроснабжения

Основной задачей системы тягового электроснабжения является обеспечение эксплуатационной работы железной дороги. Для этого необходимо, чтобы мощность всех элементов системы электроснабжения была достаточной для обеспечения потребной каждому локомотиву мощности при самых разнообразных условиях работы железнодорожной линии [2].

Эта задача может быть решена только при правильно выбранных параметрах системы электроснабжения, т.е. обеспечивающих работу оборудования в допустимых для него пределах по нагрузке и необходимое качество электроэнергии (в первую очередь уровень напряжения).

Известно, что недопустимое для данного элемента электрической установки увеличение нагрузки может привести к выходу его из строя. Следовательно, параметры устройств системы электроснабжения должны быть выбраны так, чтобы они бесперебойно работали в течение времени, определяемого их нормальным сроком службы.

Наряду с этим на электрифицированных железных дорогах неизбежны редко встречающиеся случайные сочетания нагрузок (расположения поездов), вызванные особыми условиями эксплуатации, например, пропуск поездов с минимальными межпоездными интервалами после непредусмотренных длительных перерывов движения и др. Такие сочетания нагрузок предъявляют к системе электроснабжения весьма высокие требования. При проектировании системы электроснабжения такие редко встречающиеся сочетания нагрузок не всегда принимают во внимание; пропуск поездов в этих случаях регулируется диспетчером с учетом возможностей системы электроснабжения [3].

Передача электрической энергии по проводам связана с некоторым понижением напряжения у потребителя, тем большим, чем больше потребляемая им мощность и чем дальше от питающего центра он расположен. Вследствие этого поезда, удаляющиеся от подстанций, питаются электрической энергией при более низком напряжении, и если нельзя изменить режим ведения поезда, то снижается скорость его движения. Производительность локомотива зависит от уровня напряжения в контактной сети, поэтому вопрос поддержания определенного значения напряжения в сети у поезда является весьма важным для обеспечения нормальной работы электрифицированных железных дорог.

Надежность, бесперебойность и экономичность работы электрифицированной дороги зависят от резервирования различных элементов устройства. Резервирование на тяговых подстанциях переменного тока осуществляется путем установки двух понизительных трансформаторов. В случае отключения одного из них включается другой, и таким образом обеспечиваются нормальные размеры движения на линии. В случае же отключения всей подстанции ее нагрузка воспринимается смежными, резервирование же в таком случае предусматривается в виде

запаса мощностей трансформаторов. При этом необходимо знать размеры движения, которые можно обеспечить в условиях отключения одной подстанции [2].

В системах электроснабжения нередко внезапно возникают короткие замыкания (к.з.) и другие ненормальные режимы работы. Различают к.з. между фазами электрической установки (межфазное к.з.), а также между фазой и землей (замыкание на землю). В трансформаторах и электрических машинах, кроме того, возможны межвитковые замыкания в обмотке одной фазы. К.з. возникают вследствие дефектов, старения и загрязнения изоляции токоведущих частей, обрыва и схлестывания проводов при сильном ветре или гололеде, неисправности в цепях электроподвижного состава, ошибочных переключений и т. п. Электрическая дуга в месте замыкания способна вызывать пережоги, оплавление и разрушения электрического оборудования и распределительных устройств, отжиг и обрыв контактных проводов. Разрушения оказываются тем значительнее, чем больше ток в дуге и время ее существования. Чтобы к.з. не вызвало большого ущерба, поврежденное электрооборудование необходимо как можно быстрее отключить.

Отключение электрической системы осуществляется коммутационными аппаратами – высоковольтными выключателями, привод которых снабжен специальным механизмом. Для отключения выключателя необходимо осуществить управляющее воздействие на этот механизм. Автоматические устройства, служащие для выявления к.з. и ненормальных режимов и действующие в необходимых случаях на механизм отключения выключателя или на сигнал, называют релейной защитой.

К релейной защите в соответствии с ее назначением предъявляют следующие требования: избирательность, надежность, резервирование, быстродействие, чувствительность.

Кроме того, релейная защита должна быть по возможности недорогой и безопасной в обслуживании.

## **1.2 Основные понятия и комплекты релейной защиты**

Релейная защита какого-либо элемента электроустановки состоит из комплекта различных реле, соединенных по определенной схеме. Релейная защита по назначению делится на основную и дополнительную [5].

Основной защитой называют такую защиту, которая действует при повреждении в пределах всего защищаемого элемента, время ее действия должно быть намного короче, чтобы обеспечить бесперебойную работу неповрежденной части системы. Поэтому основную защиту стремятся выполнить быстродействующей [7].

К основным защитам относятся: максимальная токовая защита (МТЗ), максимальная токовая с независимой выдержкой времени (МТЗ НВ), дифференциальная (ДЗ), дистанционная.

Дополнительные защиты применяются в качестве резервных защит или вспомогательных. Резервной защитой называют такую защиту,

которая резервирует защиты последующих (по направлению от источника питания) элементов системы на случай отказа действия их защит или выключателей.

Вспомогательной защитой называют такую защиту, которую устанавливают в дополнение к основной защите. (Токовая отсечка, отсечка по напряжению).

Релейная защита выполняется с помощью реле. Реле – это автоматически действующий аппарат, осуществляющий скачкообразные изменения в управляемых системах при заданном значении воздействующей на него величины. При этом под воздействующей понимается величина, на которую должно реагировать реле (ток, напряжение, температура, поток газовых пузырей и т. д.).

Являясь составной частью комплекса устройств автоматики, релейная защита обладает в то же время спецификой, выделяющей ее в самостоятельные научное и научно-техническое направления, основы которых базируются на фундаментальных положениях теории стационарных и нестационарных электромагнитных и электромеханических процессов, теории надежности, математической логики, электрических аппаратов, электроники и микроэлектроники и др. Назначением релейной защиты является локализация повреждений, предотвращение или сокращение ущерба при внезапном возникновении повреждений или ненормальных режимов работы электроэнергетических устройств выработки, передачи, преобразования и распределения электроэнергии, обеспечение устойчивости, надежности и живучести систем электроснабжения. Вместе с устройствами автоматического повторного включения (АПВ) и автоматического включения резерва (АВР) релейная защита образует так называемую систему противоаварийной автоматики (автоматики управления в аварийных режимах).

Защита первых электрических установок от коротких замыканий осуществлялась с конца позапрошлого столетия плавкими предохранителями. В начале XX века появились сначала реле тока, а потом и реле напряжения. С 1910 года начинают использоваться токовые защиты, дополненные реле направления мощности. Реле сопротивления, как составная часть дистанционной защиты, стали выпускаться в начале 20-х годов. Для реле тока и напряжения использовались электромагнитные механизмы, реле направления мощности и сопротивления выполнялись на индукционном принципе [3].

К началу 30-х годов относится появление высокочастотных защит линий электропередач с электронными лампами. С конца 40-х годов наметилась тенденция конструирования реле с использованием полупроводниковых диодов и транзисторов. Уже в 60-х годах такие реле стали получать все большее распространение и в настоящее время, например, вместо индукционных реле направления мощности и сопротивления выпускаются полупроводниковые.

В 80-х годах стали появляться отдельные реле и комплекты защит, выполненные с применением элементов микроэлектроники (аналоговых и цифровых микросхем). Дальнейшая тенденция развития техники релейной защиты связана с использованием микропроцессорных комплексов. Такие комплексы осуществляют как функции релейной защиты, так и ряд дополнительных и сервисных функций (автоматическое повторное включение, определение места повреждения, фиксация параметров аварийного режима и т.п.) с отображением на встроенным дисплее.

С развитием техники релейной защиты уменьшались ее габариты и собственное потребление, улучшались ее характеристики, повышались быстродействие, чувствительность и надежность, совершенствовались алгоритмы функционирования. Все это позволяет более уверенно решать основную проблему: четкое разграничение аварийного и нормального режимов.

Релейная защита, контролирующая состояние только одного объекта и отключающая при аварийных режимах выключатель только данного объекта, называется индивидуальной. Во многих случаях основные свойства защиты (чувствительность, селективность, быстродействие) улучшаются, если индивидуальные устройства взаимосвязаны.

Взаимная связь таких устройств может быть продольной и поперечной. Продольная взаимная связь объединяет защиты АК1 и АК2 на разных концах (на входе и выходе) одного объекта, например, линии – рисунок 1, а. Взаимная связь, при которой объединяются защиты АК1 и АК2 разных объектов, присоединенных к общим шинам, называется поперечной - рисунок 1, б.

Продольная связь

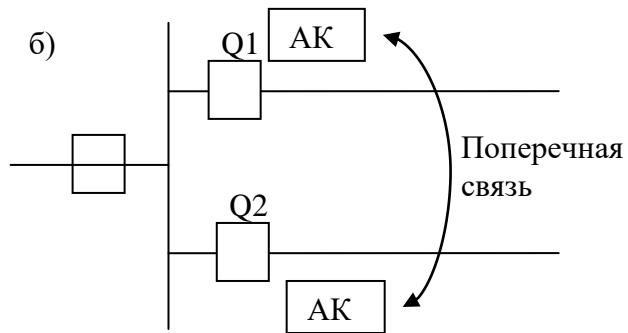
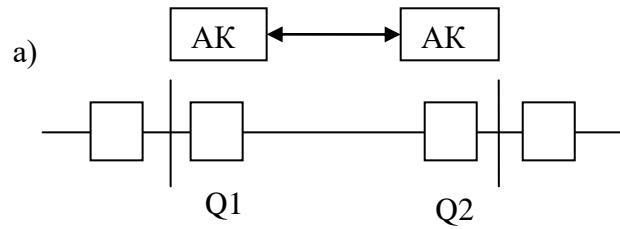


Рисунок 1.

До недавнего времени релейные и другие устройства автоматики выполнялись только на релейно-контактных элементах. В последние десятилетия широко начали применять электронные устройства. Это повышает надежность защит, уменьшает их размеры, собственное потребление и эксплуатационные расходы, а также позволяет реализовать совершенно новые функциональные зависимости. Применение полупроводниковой электроники дает возможность выполнить релейную защиту вместе с другими устройствами автоматики и телемеханики в виде единой системы, комплекса. Применение микроэлектроники и микропроцессорных систем еще больше повышает эффективность релейной защиты и автоматики, открывает перспективы для передачи функций релейной защиты и автоматики специальным управляющим вычислительным машинам, которые будут управлять устройствами электроснабжения в нормальных и аварийных режимах. В этой связи особое значение приобретает изучение алгоритмов (программ), которым должно подчиняться действие релейной защиты вне зависимости от той элементной базы, на основе которой она выполнена.

### 1.3 Основные виды релейной защиты

Наибольшее распространение получили токовые защиты. Для них воздействующей величиной является ток, проходящий по токоведущим частям электрической установки в месте включения защиты. Измерительный орган защиты приходит в действие, если воздействующая

величина (контролируемый ток) превысит заранее установленное значение, называемое уставкой срабатывания [8].

Защита, измерительный орган которой сравнивает значения или фазы токов в разных концах защищаемого объекта или в параллельных ветвях, присоединенных к общим шинам, называется дифференциальной токовой защитой. Если сравниваются токи разных концов защищаемого объекта, например, линии – рисунок 1, а, то дифференциальная защита является продольной, если же сравниваются токи, например, параллельных линий рисунок 1, б, то – поперечной. Для передачи в измерительный орган информации о значениях и фазах сравниваемых токов используют вспомогательные провода. Дифференциальные защиты относятся к защитам с взаимной связью. Они обладают абсолютной селективностью и являются быстродействующими.

Защиты, для которых воздействующей величиной является напряжение, называются защитами напряжения, вольтметровыми или потенциальными. В качестве измерительного органа в них применяется реле напряжения. В трехфазных системах такую защиту можно выполнить, включая реле не только на полные фазные и линейные напряжения, но и на их симметричные составляющие. В последнем случае повышается чувствительность к тем видам к.з., которые сопровождаются существенной несимметрией напряжений. Для этого реле напряжения включают через фильтры симметричных составляющих напряжений [9].

В линиях электропередачи напряжением 35 кВ и выше, в контактных сетях переменного тока широко используют дистанционные защиты. В качестве измерительного органа этих защит применяют реле сопротивления.

Дистанционная защита в отличие, например, от токовой, реагирует не на один признак, а на три: ток, напряжение и фазовый угол между ними. Такая защита более четко отличает ненормальные режимы от нормальных и способна выявить к.з. даже в том случае, если ток к.з. меньше тока нормального режима.

В тяговых сетях получила распространение так называемая телеблокировка (устройство телеотключения), которая, как и высокочастотная защита, относится к защитам с продольной взаимной связью. При срабатывании АК1 на одном конце линии и отключении, например, выключателя Q1 – рисунок 1, а, на выключатель Q2, находящийся на другом конце линии, по каналам телемеханики подается команда на отключение.

В релейной защите находят применение и такие измерительные органы, для которых воздействующая величина не является электрической. Так, для трансформаторов используют газовую, а для преобразовательных агрегатов тяговых подстанций – тепловую защиту. Измерительный орган первой реагирует на интенсивность газообразования трансформаторного масла, а второй – на температуру полупроводниковых приборов.

Функциями релейной защиты являются: срабатывание (выдача команды на отключение) при к.з. в защищаемой зоне на контролируемом объекте; несрабатывание при отсутствии к.з. в защищаемой зоне; несрабатывание при к.з. за пределами зоны защиты. Действия защиты, выполняемые в соответствии с указанными функциями, являются верными.

Однако в силу тех или иных причин, например, отказов элементов защиты, внешних электромагнитных помехах и т. п., защита может действовать неправильно: не сработать при к.з. в зоне защиты (отказ срабатывания), сработать при отсутствии повреждений на защищаемом объекте (ложное срабатывание), сработать при к.з. за пределами зоны защиты (излишнее срабатывание). Неправильные действия защиты относятся к отказам ее функционирования. Отказ функционирования при к.з. приводит к тяжелым повреждениям электрооборудования, распределительных устройств, перекогу проводов контактной сети и т.д., а отказ функционирования в нормальном режиме работы защищаемого объекта влечет за собой прекращение питания потребителей [11].

Для обеспечения правильного функционирования защита должна обладать определенными свойствами: селективностью, устойчивостью функционирования, надежностью функционирования. Обобщенным показателем качества защиты является эффективность ее функционирования.

Селективность (избирательность). Это свойство заключается в способности с заданным быстродействием отключать с помощью выключателей только поврежденный элемент системы. Рассмотрим, например, электрическую сеть, связывающую источник питания П1 с подстанциями П2, П3, П4 – рисунок 2. На отдельных участках установлены выключатели Q1, Q2, ..., Q7, каждый из которых имеет самостоятельное устройство релейной защиты АК1, АК2, ..., АК7.

По принципу селективности, если к.з. произошло в точке К2, должен отключиться выключатель Q4, а при к.з. в точке К3 – выключатель Q5. Селективность защиты обеспечивает отключение минимального возможного участка и, следовательно, сохранение нормального электроснабжения максимального числа потребителей.

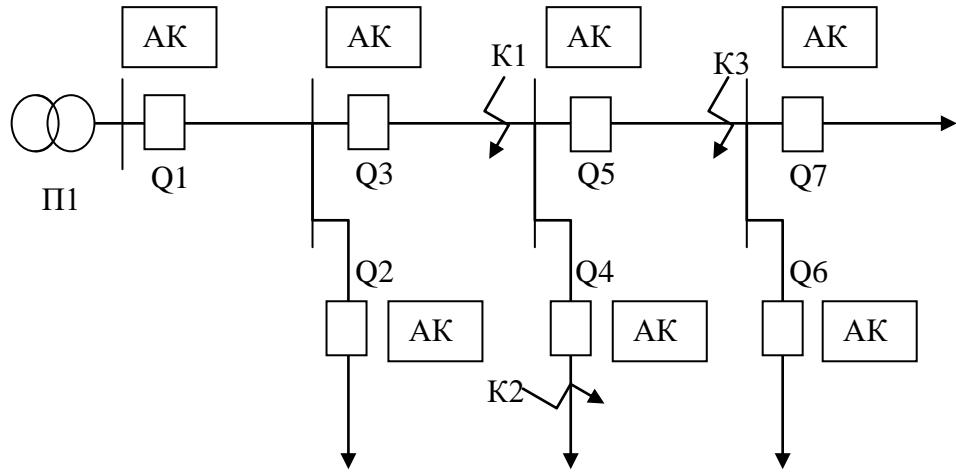


Рисунок 2 – Схема электрической сети

Короткие замыкания в пределах защищаемой данной защитой зоны называются внутренними, а за пределами этой зоны — внешними. Если защита способна реагировать только на внутренние повреждения, то ее селективность является абсолютной. Таким свойством обладают, например, продольные дифференциальные защиты и токовые отсечки. В ряде случаев, однако, к защите предъявляется требование срабатывать и при внешних к.з., т.е. неселективно. Защита, которая селективно срабатывает в обычных условиях только при внутренних к.з., но может при необходимости отключить и внешние к.з., обладает относительной селективностью. Защиты с относительной селективностью используются для резервирования выключателей смежных участков.

Селективность при внутренних к.з. характеризуется защитоспособностью и быстродействием. Защитоспособностью называется свойство, обеспечивающее способность защищать контролируемый объект при всех видах к.з. В ряде случаев, однако, защита может не реагировать на некоторые к.з. Часть контролируемой линии, в пределах которой данная защита не реагирует на к.з., называется мертвой зоной. Мертвые зоны перекрываются обычно резервными защитами.

Быстродействие защиты определяется необходимым временем отключения короткого замыкания. Чем меньше время отключения повреждения, тем:

- выше устойчивость параллельной работы генераторов электростанций (нарушение синхронизма является наиболее тяжелой аварией в энергосистеме);
- меньше разрушения изоляции, токоведущих частей, а также конструкций электротехнических аппаратов, оборудования и сетей;
- меньше продолжительность снижения напряжения, отрицательно влияющего на технологические процессы, работу электроподвижного состава и условия безопасности (снижение напряжения, например, в высоковольтных линиях питания автоблокировки может привести к

неверному действию или погасанию светофоров, а это связано с безопасностью движения поездов);

- выше эффективность действия АПВ и АВР, так как чем меньше время существования к.з., тем меньше вероятность разрушения оборудования.

Устойчивость функционирования. Это свойство характеризуется чувствительностью к коротким замыканиям при внутренних к.з., а также отстроенностью (нечувствительностью) при внешних к.з. и отстроенностью от нормальных режимов (при отсутствии к.з.).

Чувствительность – это способность защиты реагировать на повреждения в защищаемой зоне при самых неблагоприятных условиях. Чем дальше место повреждения от источника питания, тем меньше ток к.з. Значение этого тока еще больше снижается, если энергосистема работает в минимальном режиме, а замыкание произошло через переходное сопротивление электрической дуги. В этих условиях ток удаленного к.з. может быть соизмерим с током нормального режима и обеспечить чувствительность защиты достаточно трудно.

Надежность. Это свойство определяется, как способность объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Для релейной защиты характерны два режима: дежурства (ожидания) и тревоги. В режиме дежурства защита находится при нормальной работе защищаемого объекта, а также при тех повреждениях в защищаемой зоне и за ее пределами, при которых эта защита не должна выдавать выходного сигнала на отключение выключателя. Режим тревоги соответствует появлению в защищаемой зоне тех видов повреждений, на которые данная защита должна реагировать путем отключения выключателя. Иными словами, в релейную защиту в режиме тревоги поступает требование срабатывания, а в режиме дежурства – требование несрабатывания.

В общем случае, в каждом из режимов действие защиты может быть верным или неверным. В режиме дежурства верное действие не сопровождается отключением выключателя, а неверное действие приводит к излишнему (неселективному) или ложному отключению. В режиме тревоги верное действие вызывает отключение выключателя, а неверное – не вызывает. Таким образом, надежность функционирования релейной защиты заключается в ее надежном срабатывании при поступлении требования срабатывания и надежном несрабатывании при поступлении требования несрабатывания.

На релейную защиту постоянно воздействует множество случайных факторов, каждый из которых может вызвать ее неверное действие (отказ). Эти факторы можно разделить на две группы. Факторы первой группы связаны с нарушением работоспособности собственно аппаратуры релейной защиты, которая характеризуется аппаратурной (элементной)

надежностью. Ко второй группе относятся так называемые внешние факторы, которые не зависят от показателей надежности самой аппаратуры защиты. Внешними факторами являются помехи в цепях измерительных трансформаторов, первичных датчиков и источниках оперативного питания, изменение режимов работы и схемы питания защищаемого объекта, срабатывание разрядников на шинах и высоковольтных линиях при атмосферных и коммутационных перенапряжениях, броски тока при АПВ, недостаточная или излишняя чувствительность защиты, неверный выбор уставки и т. п. Надежность функционирования (эксплуатационная надежность) учитывает обе группы событий.

Надежность функционирования оценивается рядом показателей: вероятностью безотказной работы, параметром потока отказов, периодичностью отказов срабатывания, излишних и ложных действий и др.

Для повышения надежности функционирования важное значение имеют правильная эксплуатация и своевременная ревизия защиты. Надежность защиты стремится повысить, применяя наиболее простые схемы и устройства, содержащие небольшое число элементов, особенно элементов с низкой надежностью. В связи с этим предпочтительно применение бесконтактных элементов, микроэлектроники.

Повышение надежности АК в режиме тревоги достигается также путем резервирования и дублирования защит. Различают основные и резервные защиты.

Основная защита реагирует на повреждения в пределах данной защищаемой зоны или защищаемого элемента со временем, меньшим, чем другие защиты рассматриваемой системы электроснабжения. Резервная защита должна реагировать на повреждения вместо основной, если последняя неисправна или выведена из работы. Резервная защита, установленная совместно с основной и воздействующая на тот же выключатель, осуществляет так называемое ближнее резервирование, или дублирование. Резервная защита, отключающая данный выключатель при внешнем повреждении (при повреждении на смежном элементе), если защита или выключатель смежного элемента отказали, осуществляет дальнее резервирование. Так, при относительной селективности защиты АК3, воздействующей на выключатель Q3 (см. рис. 2), эта защита является основной для зоны между подстанциями П2, П3 и резервной для зоны между подстанциями П3, П4, а также для выключателя Q4 и подключенной к нему линии.

#### **1.4 Современное состояние релейной защиты электрооборудования тягового электроснабжения Микропроцессорные защиты**

Общие положения. Перспективным направлением в теории и практике релейной защиты является использование микропроцессоров (МП) и микро-электронно вычислительных машин (микро-ЭВМ), разработка на их основе защит, получивших название микропроцессорных

или программных. Микропроцессор - программно-управляемое устройство, обрабатывающее цифровую информацию и управляющее в соответствии с хранимой в памяти программой. Микро-ЭВМ - цифровая ЭВМ с интерфейсом ввода-вывода, состоит из микропроцессора, памяти программ, памяти данных, пульта управления и источников питания. Микропроцессоры и микро-ЭВМ составляют основу вычислительных систем (ВС), являющихся центральной частью микропроцессорных релейных защит. В состав вычислительных систем могут входить один или несколько МП или микро-ЭВМ, образуя соответственно однопроцессорную, много- (мульти-) процессорную, одномашинную или многомашинную вычислительные системы релейной защиты. Обработка информации в многопроцессорных и многомашинных вычислительных системах может осуществляться одновременно как по независимым программам, так и по независимым на отдельных участках ветвям программы.

Применение МП и микро-ЭВМ для выполнения функций релейной защиты обусловлено их широкими функциональными возможностями, обеспечивающими создание защит нового поколения практически любой сложности и высокой надежности.

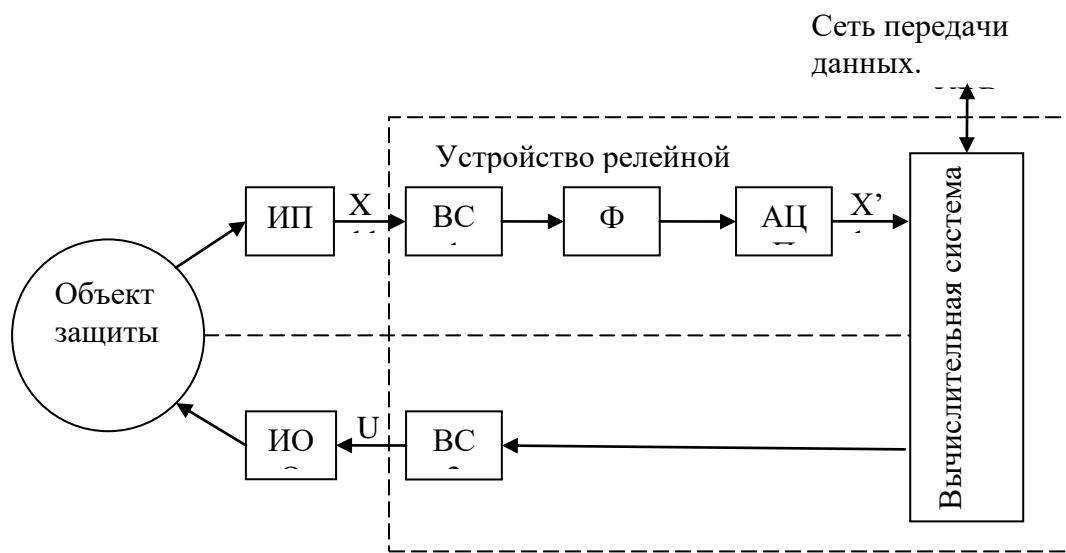


Рисунок 3 - Обобщенная структурная схема микропроцессорной релейной защиты

ИП – измерительный преобразователь;

ВС1 – входное согласование;

Ф – частотный фильтр;

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

ВС2 – выходное согласование;

Х<sub>1</sub> – входной сигнал;

Х'<sub>1</sub> – прошедший фильтрацию аналоговый сигнал;

U – сигнал управления;

ИО – исполнительный орган;

## Описание и работа устройства ЦЗА-27,5-ФКС

### Назначение ЦЗА-27,5-ФКС

Устройство ЦЗА-27,5-ФКС предназначено для выполнения функций защиты и автоматики, контроля и сигнализации, местного и дистанционного управления фидером контактной сети переменного тока напряжением 27,5 кВ. Устройство ЦЗА-27,5-ФКС может включаться в автоматизированную систему управления (АСУ) подстанции в качестве подсистемы нижнего уровня. В этом случае двусторонний обмен информацией с АСУ производится по стандартному последовательному каналу связи.

Устройство ЦЗА-27,5-ФКС, в зависимости от значения напряжения питания, выпускают в двух вариантах исполнения:

Область применения - ячейки комплектных распределительных устройств тяговой подстанции (ТП), помещения щитовых на подстанциях и т.д.

Устройство ЦЗА-27,5-ФКС по виду климатического исполнения относится к категории О4 по ГОСТ 15150 и сохраняет работоспособность в условиях эксплуатации [14]:

- а) рабочий диапазон температур от минус 10 до плюс 45 °C;
- б) относительная влажность 75 % при температуре плюс 27 °C;
- в) атмосферное давление - от 73,3 до 106,7 кПа (от 550 до 800 мм рт. ст.).

### Технические характеристики ЦЗА-27,5-ФКС

Устройство ЦЗА-27,5-ФКС соответствует требованиям технических условий, в зависимости от варианта исполнения устройства ЦЗА-27,5-ФКС.

Основные технические характеристики устройства ЦЗА-27,5-ФКС приведены в таблице 1. Конструктивно устройство ЦЗА-27,5-ФКС выполнено в виде двух блоков: блока защит и автоматики (БЗА) и блока управления (БУ). Масса и габаритные размеры этих блоков приведены в таблице 1. Характеристики электропитания

а) устройство ЦЗА-27,5-ФКС сохраняет работоспособность при величине напряжения питания в диапазоне от 176 до 253 В постоянного, выпрямленного или переменного тока частотой (50,0±5,0) Гц;

б) устройство ЦЗА-27,5-ФКС сохраняет работоспособность при величине напряжения питания в диапазоне от 88 до 126,5 В постоянного или выпрямленного тока;

в) полная мощность, потребляемая устройством ЦЗА-27,5-ФКС от источника переменного, выпрямленного или постоянного тока, не превышает 20 В·А.

Устройство ЦЗА-27,5-ФКС имеет последовательный интерфейс RS-232 для подключения персональной электронно-вычислительной машины (ПЭВМ) (например, типа NOTEBOOK) и интерфейс RS-485 для связи с АСУ. Скорость передачи данных по последовательному каналу интерфейса RS-232 и по каналу интерфейса RS-485 составляет 9600 бит/с.

Протокол связи - MODBUS. Время готовности устройства ЦЗА-27,5-ФКС к работе после подачи номинального напряжения первичного питания составляет не более 3,0 с.

Таблица 1  
Основные технические характеристики устройства ЦЗА- 27,5-ФКС

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра	
		Исполнение 01	Исполнение 02
1 Входы аналоговых сигналов.			
Канал контроля тока:			
- число каналов;	шт.	3	
- рабочий диапазон значений силы вторичного тока;		От 0 до 60	
- коэффициент преобразования трансформатора тока;	A	от 500/5 до 1500/5	
- термическая стойкость токовых цепей, не менее:	A/A	15	
- долговременная (более 1 с);	A	1	
- кратковременная (не более 1 с);		1	
Полная мощность, потребляемая по цепям тока, не более;	B·A	400	
Канал контроля напряжения:		0,2	
число входов по напряжению;	шт.	2	
рабочий диапазон значений напряжения;	B	От 0 до 120	
коэффициент преобразования датчика напряжения;	кВ/В	27,5/100	

27,5/100		
устойчивость к перегрузкам цепей напряжения;	В	300
диапазон изменения частоты переменного тока;	Гц	От 45 до 55
2 Входы дискретных сигналов: входной ток, не более;	мА	3
длительность сигнала, не менее;	мс	10
Дискретные входы для напряжения 220 В переменного и постоянного тока:		
число входов;	шт.	31
напряжение срабатывания;	В	От 170 до 264
напряжение несрабатывания.	В	От 0 до 140
Дискретные входы для напряжения		
110 В переменного и постоянного тока:		
число входов;	шт.	1
напряжение срабатывания;	В	От 80 до 131
напряжение несрабатывания.	В	От 0 до 70
3 Выходы дискретных сигналов		
управления напряжением 220 В:		
количество релейных выходов;	шт.	15

количество выходов электронных ключей;	шт.	1
диапазон коммутируемых напряжений переменного или постоянного тока;	В	От 24 до 264
коммутируемый ток замыкания/размыкания при активно-индуктивной нагрузке, не более;	А	2,5/0,15 5,0/0,3
- постоянная времени $L/R$ , не более;	мс	50 50
для выходов электронных ключей коммутируемый ток, не более	А	2,5 5,0
- кратковременно (не более 1 с); - долговременно (более 1 с)	1	1
4 Основная приведенная погрешность срабатывания защит:  а) по току *; б) по напряжению **; в) по сопротивлению ***; г) по фазовому углу; д) по времени: - при длительности более 1 с; - при длительности менее 1 с	% % % град % мс	$\pm 2$ $\pm 2$ $\pm 4$ $\pm 2$ $\pm 2$ $\pm 25$
5 Габаритные размеры блоков устройства ЦЗА-27,5-ФКС, не более:  блока БУ: -длина;	мм	195 60 316 376 240

<ul style="list-style-type: none"> <li>- ширина;</li> <li>- высота** блока</li> </ul> <p>БЗА:**;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-длина;</li> <li>- <u>ширина</u>****;</li> <li>- высота</li> </ul>		266
--	--	-----

## 1.5 Электронная защита УЭЗФМ

Разработана аппаратура усовершенствованной защиты на интегральных микросхемах АЗФИ и ее аналог на дискретных полупроводниковых элементах УЭЗФМ. Она содержит три ступени дистанционной защиты Д31, Д32, Д33 и блокировку по току

Ступень Д31 снабжена переключателем, с помощью которого угловая характеристика в виде сектора может быть переведена в круговую с блокировкой по току. Первая ступень Д31 – это дистанционная защита, работающая в двух режимах:

- 1.токовая блокировка;
- 2.направленная защита.

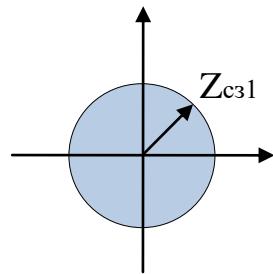
Первая ступень работает без выдержки времени. Уставка реле сопротивления регулируется с помощью сопротивления R1. Уставка токовой блокировки с помощью патенциометра R2.

Работа токовой блокировки. Если сопротивление к. с. опускается ниже сопротивления уставки первой ступени, то на выходе 7 модуля У1 появляется сигнал логической единицы, который поступает на вход 5 схемы "и-не" модуля У1. Если ток в системе превышает ток уставки реле тока токовой блокировки, то на выходе 25 модуля У1 появляется также сигнал логической единицы, который поступает на вход 20 схемы "и-не" модуля У1, и на входе 2 появляется сигнал логического нуля, который поступает на отключающие устройство и блок индикации.

Направленная защита. Тумблер ТБН3 переводится в режим направленной защиты и на вход 20 схемы "и-не" модуля У1, вместо сигнала токовой блокировки поступает сигнал от модуля ИФМ1. на выходе модуля ИФМ1 сигнал логической единицы появляется в том случае когда угол между током и напряжением будет в пределах от 0 до 120°. Принцип блокировки аналогичен.

Правила требуют рассчитывать ток блокировки при отключенном смежном фидере ТП, на практике применяется расчет тока подпитки при нормальной схеме питания к. с., т.к. ток через защищаемый фидер будет меньше, следовательно уставка токовой блокировки тоже будет меньше и первая ступень будет надежно работать, т. к. зона блокировки увеличится.

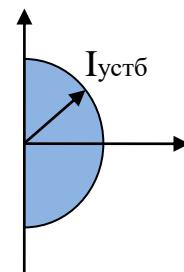
Диаграмма 1-ой ступени



Это допустимо потому что, вероятность отключенного смежного фидера и к. з. на шинах подстанции и отходящих линиях невелика, или отходящих линий вообще может не быть.

При возникновении к. з. на отходящих линиях возможно ложное срабатывание защиты ФКС, если в этот момент отключен смежный ФКС.

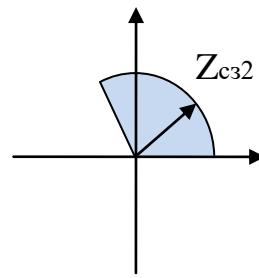
Диаграмма токовой блокировки



Вторая ступень(Д32) - также является дистанционной направленной защитой с углом действия от 0 до 120°.

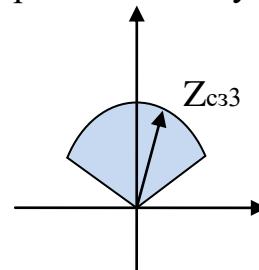
Уставка ДН3 2 регулируется с помощью потенциометра R3. Если сопротивление к. с. меньше сопротивления срабатывания второй ступени, то на выходе 7 модуля У3 появляется сигнал логической единицы, который поступает на вход 26 схемы "и-не" модуля У1. На вход 12 схемы "и-не" поступает сигнал с модуля ИФМ 1. На выходе 15 появляется сигнал логического нуля, который поступает на вход 11 схемы "не" модуля У2 и на вход 7 реле времени модуля У5. На выходе 14 схемы "не" модуля У2 появляется сигнал логической единицы, который поступает на вход 12 схемы "и-не" модуля У3. На вход 26 схемы "и-не" по истечении выдержки времени 0,5 сек. с реле времени поступает также логическая единица. На выходе 15 схемы "и-не" модуля У3 появляется сигнал логического нуля, который поступает в модуль индикации, при этом загорается светодиод второй ступени. С выхода реле времени сигнал логической единицы поступает также на схему "и-не" модуля У5 и на выходе 2 этой схемы появляется сигнал логического нуля, который поступает в модуль отключения.

Диаграмма второй ступени

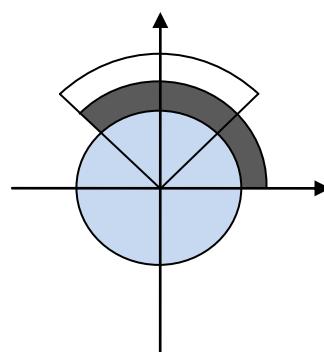


Третья ступень защиты работает до шин смежной подстанции с выдержкой времени 0,5 сек. и является основной ступенью электронной защиты. Принцип работы аналогичен работе второй ступени.

Диаграмма 3-ей ступени



Общая диаграмма 3-х ступеней УЭЗФМ



## 1.6 Расчет уставок релейных защит фидера контактной сети тяговой подстанции.

Тип контактной подвески: ПБСМ-95+МФ-100+Р65;

Длина межподстанционной зоны(МПЗ):  $L=46$  км;

Трансформатор: ТДТНЖ-40000/110/27,5/10

Мощность короткого замыкания:  $S_{kz} \min=700$  МВА;  $S_{kz} \max=1000$  МВА;

Защищаемый фидер – ФКС1 .

Номинальный ток фидера  $I_{n \max}$ :

ФКС1,2 - 800 А,

ФКС3 - 450 А,

ФКС4,5 - 500 А,

ФКС6,7-600А,

### 1.6.1 Расчет параметров тяговой подстанции

Расчет сопротивления силового трансформатора

$$X_T = \left( \frac{U_{KB}}{100} * \frac{U_H^2}{S_H} \right) + \left( \frac{U_{KC}}{100} * \frac{U_H^2}{S_H} \right)$$

Расчётные значения напряжения к.з. обмоток трансформатора определим, используя выражения:

$$U_{KB} = \frac{1}{2} * (U_{\kappa.B-C} + U_{\kappa.B-H} - U_{\kappa.C-H})$$

$$U_{KC} = \frac{1}{2} * (U_{\kappa.B-C} + U_{\kappa.C-H} - U_{\kappa.B-H})$$

$$U_{KB} = \frac{1}{2} * (10,4 + 18,3 - 6,45) = 11,12 \%$$

$$U_{KC} = \frac{1}{2} * (10,4 + 6,45 - 18,3) = 0,72 \%$$

$$X_T = \left( \frac{11,12}{100} * \frac{27,5^2}{40} \right) + \left( \frac{0,72}{100} * \frac{27,5^2}{40} \right) = 1,96 \text{ Ом}$$

Расчет сопротивления системы внешнего электроснабжения приведенное к напряжению 27,5 кВ

$$X_s = \frac{U_H^2}{S_{k3}}$$

где  $S_{k3}$  – мощность короткого замыкания подстанции.

$$X_{smin} = \frac{27,5^2}{700} = 1,08 \text{ Ом}$$

$$X_{smax} = \frac{27,5^2}{1000} = 0,75 \text{ Ом}$$

Расчет сопротивления подстанции

$$Z_{\Pi} = 2 \left( X_s + \frac{X_T}{n} \right)$$

где:  $n$  – число силовых трансформаторов находящихся в работе.

$$Z_{\Pi min} = 2 \left( 1,26 + \frac{1,96}{1} \right) = 6,08 \text{ Ом}$$

$$Z_{\Pi max} = 2 \left( 0,75 + \frac{1,96}{1} \right) = 5,42 \text{ Ом}$$

Расчет уставок срабатывания 3-х ступенчатой УЭЗФМ

Значения этих уставок срабатывания принимаются и для настройки ЦЗА-ФКС-27,5. Расчёт уставок первой ступени электронной защиты.

Первая ступень – это дистанционная защита, работающая в двух режимах:

- 1) токовая блокировка;
- 2) направленная защита.

Первая ступень работает без выдержки времени. Уставка реле сопротивления регулируется с помощью сопротивления R1. Уставка токовой блокировки с помощью потенциометра R2. Работа токовой

блокировки. Если сопротивление к. с. опускается ниже сопротивления уставки первой ступени, то на выходе 7 модуля У1 появляется сигнал логической единицы, который поступает на вход 5 схемы "и-не" модуля У1. Если ток в системе превышает ток уставки реле тока токовой блокировки, то на выходе 25 модуля У1 появляется также сигнал логической единицы, который поступает на вход 20 схемы "и-не" модуля У1, и на входе 2 появляется сигнал логического нуля, который поступает на отключающие устройства и блок индикации.

Направленная защита. Тумблер ТБН3 переводится в режим направленной защиты и на вход 20 схемы "и-не" модуля У1, вместо сигнала токовой блокировки поступает сигнал от модуля ИФМ1. на выходе модуля ИФМ1 сигнал логической единицы появляется в том случае когда угол между током и напряжением будет в пределах от 0 до 120°. Принцип блокировки аналогичен. Сопротивление срабатывания защит

$$Z_{cz1} = \frac{Z_{k3min}}{K_3} = \frac{U_{рабmin}}{K_3 * I_{hmax}}$$

где  $U_{рабmin}=23$  кВ – минимальное рабочее напряжение,

$K_3=1,2$  – коэффициент запаса,

$I_{hmax}$  – максимальный ток нагрузки ,

Сопротивление срабатывания защит.

$$Z_{cz1} = \frac{Z_{k3min}}{K_3}$$

где  $Z_{k3min}$  – сопротивление на защищаемом фидере при к. з. на шинах поста секционирования и отключенном смежном пути;

$$Z_{k3} = Z_n + Z_{01} * L$$

где:  $Z_{01}$  – погонное сопротивление контактной сети, для подвески, ПБСМ-95 + МФ-100 + Р-65,  $Z_{01}=0,47$  Ом;  $L$  – расстояние от подстанции до поста секционирования,  $L=21$  км.

$$Z_{k3min} = 6,08 + 0,47 * 25 = 17,8 \text{ Ом}$$

$$Z_{k3max} = 5,42 + 0,47 * 46 = 27,04 \text{ Ом}$$

Получим уставку первой ступени ДЗ1

$$Z_{cz1} = \frac{17,8}{1,2} = 14,83 \text{ Ом}$$

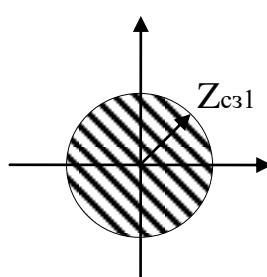


Рисунок 4-Характеристика срабатывания 1-ой ступени (ДЗ).

### 1.6.2 Расчет тока уставки токовой блокировки.

Правила требуют рассчитывать ток блокировки при отключенном смежном фидере ТП, на практике применяется расчет тока подпитки при нормальной схеме питания к. с., т.к. ток через защищаемый фидер будет меньше, следовательно уставка токовой блокировки тоже будет меньше и первая ступень будет надежно работать, т. к. зона блокировки увеличится. Это допустимо потому что, вероятность вероятность отключенного смежного фидера и к. з. на шинах подстанции и отходящих линиях невелика, или отходящих линий вообще может не быть.

При возникновении к. з. на отходящих линиях возможно ложное срабатывание защиты ФКС, если в этот момент отключен смежный ФКС.

Ток уставки токовой блокировки

$$I_{устб} = K_3 * I_{nmax}$$

где  $I_{nmax}$  – ток подпитки через защищаемый фидер от смежной подстанции при к. з. на шинах защищаемой подстанции,

$$I_{устб} = 1,2 * 600 = 720 \text{ A}$$

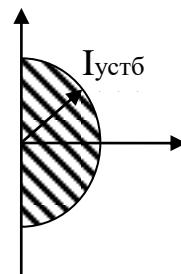


Рисунок 5-Характеристика срабатывания токовой блокировки

Расчет уставки срабатывания второй ступени электронной защиты

Вторая ступень также является дистанционной направленной защитой с углом действия от 0 до 120°. Уставка ДН3 2 регулируется с помощью патенциометра R3. Если сопротивление к. с. меньше сопротивления срабатывания второй ступени, то на выходе 7 модуля У3 появляется сигнал логической единицы, который поступает на вход 26 схемы "и-не" модуля У1. На вход 12 схемы "и-не" поступает сигнал с модуля ИФМ 1. На входе 15 появляется сигнал логического нуля, который поступает на вход 11 схемы "не" модуля У2 и на вход 7 реле времени модуля У5. На выходе 14 схемы "не" модуля У2 появляется сигнал логической единицы, который поступает на вход 12 схемы "и-не" модуля У3. На вход 26 схемы "и-не" по истечении выдержки времени 0,5 сек. с реле времени поступает также логическая единица. На выходе 15 схемы "и-не" модуля У3 появляется сигнал логического нуля, который поступает в модуль индикации, при этом загорается светодиод второй ступени. С выхода реле времени сигнал логической единицы поступает также на схему "и-не" модуля У5 и на выходе 2 этой схемы появляется сигнал логического нуля, который поступает в модуль отключения. Расчет сопротивления срабатывания второй ступени защиты

$$Z_{c32} = \frac{U_{рабmin}}{K_3 * I_{hmax}}$$

$I_{hmax}$  – максимальный ток нагрузки фидера.

$$Z_{c32} = \frac{23000}{1,2 * 800} = 23,9 \text{ Ом}$$

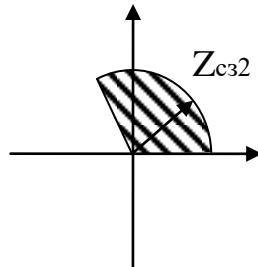


Рисунок 6-Характеристика срабатывания 2-ой ступени (ДЗ-2)

Расчет уставки третьей ступени электронной защиты ДЗ-3

Третья ступень защиты работает до шин смежной подстанции с выдержкой времени 0,5 сек. и является основной ступенью электронной защиты. Характеристика срабатывания третьей ступени представляет собой сектор в диапазоне углов от 50° до 120°. Принцип работы аналогичен работе второй ступени.

$$Z_{c33} = K_u * Z_{k3max}$$

где  $K_u=1,5$  – коэффициент чувствительности;

$Z_{k3max}$  – максимальное сопротивление на защищаемом фидере при к.з. на шинах смежной подстанции.

Расчет сопротивления срабатывания третьей ступени электронной защиты

$$Z_{c33} = 1,5 * 27,04 = 40,56 \text{ Ом}$$

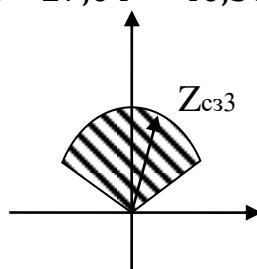


Рисунок 7 - Характеристика срабатывания третьей ступени (ДЗ-3)

### 1.6.3 Расчет уставки срабатывания максимально токовой защиты фидера контактной сети (МТЗ)

Максимальная токовая защита

МТЗ на ФКС и ОВ – 27.5 кВ выполнена на базе токового реле типа

РТ – 40 и задействована от отдельной вторичной обмотки трансформатора тока. МТЗ является резервной защитой и защищает межподстанционную зону не полностью, чувствительность защиты к к.з. в конце зоны недостаточна. Защита вводится в работу накладкой "НМ" – максимально-токовая защита установленной на релейном блоке каждого ФКС и ОВ – 27.5 кВ. Накладка "НМ" должна быть всегда введена.

При срабатывании защиты выпадает блокиратор "БМ" установленный на релейном блоке, загорается световое табло "ТСУ – 27.5 кВ" – блокиратор не поднят на панели "ОПС", работает аварийная сигнализация (сирена) мигает зелёная лампа на панели отключенного ФКС или ОВ – 27.5 кВ.

Расчет тока уставки срабатывания МТЗ

Ток уставки срабатывания МТЗ выбирается по условию:

$$\frac{K_3 * I_{Hmax}}{K_B} \leq I \leq \frac{I_{Kmin}}{K_4}$$

где:  $K_3$  – коэффициент запаса, принимается равным 1,2;

$K_B$  – коэффициент возврата реле, принимается равным 0,9;

$K_4$  – коэффициент чувствительности. Принимается равным 1,5;

$I_{Kmin}$  – ток К.З. в минимальном режиме, определяется по формуле:

$$I_{Kmin} = \frac{0,9 * U_H}{Z_{Pmin}}$$

где  $U_H$  – номинальное значение напряжения ФКС, принимается равным 27,5 кВ.

$Z_{Pmin}$  – сопротивление подстанции в минимальном режиме

$$I_{Kmin} = \frac{0,9 * 27,5}{6,08} = 4070 \text{ A}$$

Определение первого условия выбора уставки срабатывания МТЗ.

$$\frac{K_3 * I_{Hmax}}{K_B} = \frac{1,2 * 800}{0,9} = 1600 \text{ A}$$

По первому условию:  $I_{УMTЗ} \geq 1600 \text{ A}$

Определение второго условия выбора уставки срабатывания МТЗ

$$\frac{I_{Kmin}}{K_4} = \frac{4070}{1,5} = 2713 \text{ A}$$

Согласно двум условиям ток уставки МТЗ должен удовлетворять условиям:

$$1600 \leq I_{УMTЗ} \leq 2713$$

Принимаем ток уставки МТЗ равным  $I_{УMTЗ} = 2000 \text{ A}$

$1600 \leq 1800 \leq 2713 \text{ A}$ .

Для того чтобы трансформаторы тока работали в нужном классе точности необходимо их выбирать по условию

$I_{HTT} > I_{УMTЗ}$ ,

Выбираем трансформатор тока  $I_{HTT} = 2000 \text{ A}$ , ток вторичной обмотки 5 А. Определяем коэффициент трансформации ТТ.

$$K = \frac{I_H}{5} = \frac{2000}{5} = 400$$

Определяем ток во вторичной цепи трансформатора тока МТЗ

$$I_{2TT} = \frac{I_{УMTЗ}}{K_t}$$

$$I_{2TT} = \frac{2000}{240} = 5 \text{ A}$$

Расчет уставки срабатывания токовой отсечки на ФКС-27,5 кВ

Токовая отсечка с выдержкой времени резервирует отказ МТЗ – 27,5 кВ.

Токовая отсечка используется как дополнительная защита, реагирующая на близкие короткие замыкания. Она выполняется, как правило, с помощью датчиков тока, воздействующих на отключение фидерного быстродействующего выключателя. В отдельных случаях, например в двух зонной защите, токовая отсечка реализуется с помощью того автоматического быстродействующего выключателя, который имеет полный пакет шунта.

Выбор уставки срабатывания токовой отсечки ФКС-27,5

Уставка срабатывания токовой отсечки выбирается по условию:

$$I_{YTO} \geq K_{OTC} * I_{Kmax}$$

где  $K_{OTC}$  – коэффициент отстройки (1,2 – 1,6).

$I_{K3max}$  – ток короткого замыкания в режиме максимума, определяется по формуле

$$I_{Kmax} = \frac{U_H}{Z_{Pmax} + Z_{01} * L_1}$$

где  $L_1$  – расстояние от подстанции до поста секционирования.

$Z_{01}$  – погонное сопротивление контактной сети.

$$I_{Kmax} = \frac{27,5}{5,42 + 0,47 * 21} = 1798 \text{ A}$$

Определяем условие выбора тока уставки срабатывания токовой отсечки

$$K_{OTC} * I_{Kmax} = 1,2 * 1798 = 2157,6 \text{ A}$$

Согласно условию выбираем ток уставки  $I_{YTO} = 2200 \text{ A}$ .

Выбранная уставка должна быть больше, чем вычисленная по формуле:

$$I_{YTO} \geq K_3 * I_{Hmax}$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса принимается равным 1,15 – 1,25

$$2200 \geq 1,25 * 800 = 1000 \text{ A}$$

Кроме того, выбранная уставка проверяется по коэффициенту чувствительности по формуле:

$$K_q = \frac{I_{Kmin}}{I_{YTO}} \geq 1,25$$

$$K_q = \frac{4070}{2200} = 1,85 \geq 1,25$$

Выбранная уставка токовой отсечки  $I_{YTO} = 2200 \text{ A}$  соответствует всем условиям.

Выбор трансформатора тока для токовой отсечки и определение тока во вторичной цепи ТТ.

Для того чтобы трансформаторы тока работали в нужном классе точности необходимо их выбирать по условию:

$$I_{HTT} > I_{YTO}.$$

Выбираем трансформатор тока  $I_{HTT}=2500$  А, ток вторичной обмотки 5 А.

Определяем коэффициент трансформации ТТ.

$$K_T = \frac{I_H}{5} = \frac{2500}{5} = 500$$

Определяем ток во вторичной цепи трансформатора тока ТО.

$$I_{2TT} = \frac{I_{YMTZ}}{K_T}$$

$$I_{2TT} = \frac{2200}{500} = 4,4 \text{ А}$$

### 1.7 Исследование условий для замены релейной защиты УЭЗФМ-ФКС-27,5 на ЦЗА-ФКС-27,5 на тяговой подстанции

Как известно в 70-е годы на тяговых подстанциях взамен релейно-контактной аппаратуры начали внедрять электронную аппаратуру комплексной системы автоматики и телемеханики. Она включала в себя и защиты с телемлокировкой типа УЗТБ. Выпускались также отдельные комплексы электронной защиты типа УЭЗФТ для тяговых подстанций и типа УЭЗФП для постов секционирования. В защитах УЗТБ, УЭЗФТ, УЭЗФП реализованы сходные принципы и схемы.

В середине 80-х была разработана аппаратура усовершенствованной защиты на интегральных микросхемах АЗФИ и ее аналог на дискретных полупроводниковых элементах УЭЗФМ. Она содержит три ступени дистанционной защиты ДЗ1-ДЗ3 и токовую блокировку.

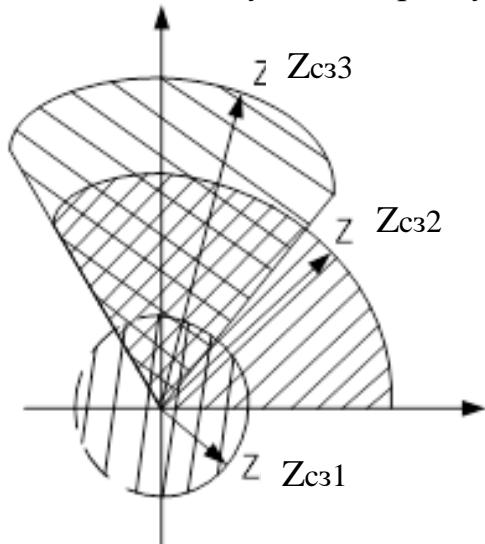


Рис. 8 Общая характеристика срабатывания трехступенчатой электронной дистанционной защиты

Также как появление в 70-е УЗТБ, в 80-е УЭЗФМ было необходимо для развития хозяйства электроснабжения, так и сейчас установка ЦЗА необходимая мера. Так как электронные защиты на данный момент уже устарели и физически и морально. Одним из основных преимуществ ЦЗА является то, что затраты на ее обслуживание минимальные.

### 1.8 Особенности защиты трансформаторов

Понижающие трансформаторы с первичным напряжением 110— 220 кВ оборудуют следующими видами защит: дифференциальной и газовой — от внутренних повреждений, максимальной токовой с блокировкой по напряжению — от внешних коротких замыканий, максимальной токовой с выдержкой времени — от перегрузок. Кроме того, устанавливают специальные защиты — от застревания механизма регулятора напряжения под нагрузкой и температурную (от перегрева) с автоматическим включением дутьевого искусственного охлаждения. Сигнал о превышении температуры подается при нагреве масла до 75— 80° С. При температуре масла выше 55°С независимо от нагрузки включается дутьевое охлаждение. Когда ток трансформатора достигает 0,7 номинального, независимо от температуры масла также включается дутьевое охлаждение [6].

Газовая защита выполняется двухступенчатой. Ее первая ступень действует на сигнал, вторая на отключение трансформатора со стороны всех обмоток.

Дифференциальная защита выполняется с отстройкой от бросков тока намагничивания.

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 2. Дифференциальная защита выполняется без выдержки времени и действует на отключение выключателей со стороны всех обмоток.

Максимальная токовая защита со стороны обмотки высшего напряжения выполняется в трехрелейном исполнении и действует на отключение выключателей со стороны всех обмоток. Уставки срабатывания защиты выбираются по условию  $I_{cz} \geq \frac{K_3}{K_B} * I_{hmax}$ .

Чувствительность проверяется по двухфазному к.з. на выводах обмоток среднего и низшего напряжений. Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1.5. При необходимости такая защита выполняется с комбинированным пуском. Выдержку времени выбирают на одну ступень больше, чем у защиты вторичных обмоток.

Максимальная токовая защита от перегрузки выполняется в однорелейном исполнении в одной фазе со стороны обмотки высшего напряжения. Ток срабатывания вычисляют по формуле  $I_{cz} \geq \frac{K_3}{K_B} * I_{hmax}$  при  $\kappa_3 = 1,05$ . Выдержку времени принимают 9 с.

Максимальная токовая защита от перегрева масла, действующая на включение обдува трансформатора, выполняется так же одним реле в одной фазе со стороны обмотки высшего напряжения. Ее уставку выбирают по условию:

$$I_{cz} = \frac{K_3}{K_B} 0,7I_{t,nom}, \quad (1)$$

где  $I_{t,nom}$  — номинальный ток трансформатора, приведенный к напряжению той обмотки, на стороне которой установлена защита.

Значения коэффициентов запаса  $\kappa_3$  и возврата  $\kappa_6$  принимают в соответствии с ПУЭ.

На стороне обмотки 27,5 кВ понижающего трансформатора устанавливается максимальная токовая защита с выдержкой времени в двухрелейном исполнении с комбинированным пуском по напряжению. Эта защита реагирует на все к.з. на шинах 27,5 кВ и, кроме того, резервирует защиты присоединений 27,5 кВ (фидеры контактной сети, линий ДПР и др.). Желательна установка второй ступени в виде дистанционной защиты, которая может более эффективно резервировать защиты фидеров контактной сети.

Уставка срабатывания максимальной токовой защиты  $I_{y,MT3}$  должна отвечать условию:

$$\frac{S_{T_1} \kappa_3 I_0^3}{\sqrt{3} U_h \kappa_6} \leq I_{y,MT3} \leq \frac{0,95 U_h}{Z_{\Pi} \kappa_4}, \quad (2)$$

где  $S_T$  — номинальная мощность тяговой обмотки понижающего трансформатора, кВ·А;  $U_h$  — номинальное напряжение этой обмотки, В;  $Z_{\Pi}$  — сопротивление подстанции в режиме минимума энергосистемы. Коэффициенты запаса, возврата и чувствительности принимают равными:  $\kappa_3=1,15—1,25$ ,  $\kappa_6=0,85$ ,  $\kappa_4=1,5$ .

Дистанционную защиту устанавливают в фазах А и В. Ее уставку выбирают по условию:

$$Z_{y,D3} = Z_{y,D33} / n_1, \quad (3)$$

где  $Z_{y,D33}$  — наибольшая уставка срабатывания третьей ступени дистанционной защиты фидера контактной сети, подключенного к данной фазе.

На однопутном участке принимают  $n_1=1$ , на многопутных участках  $n_1=n-1$ , где  $n$  — число фидеров контактной сети, находящихся в работе, подключенных к этой же фазе.

Если понижающий трансформатор является трехобмоточным, то на обмотке 10—35 кВ, питающей районные потребители, устанавливают максимальную токовую защиту с выдержкой времени в двухфазном двухрелейном исполнении. Если необходимо, то она дополняется комбинированным пуском по напряжению.

Микропроцессорный комплекс БМРЗ имеет специальные модификации для защиты и управления выключателями на выводах 27,5; 35 или 10 кВ трехфазного понижающего трансформатора (на вводах РУ-27,5; 35 или 10 кВ). Блок БМРЗ-ФВВ предназначен для защиты, автоматики и управления выключателя ввода РУ-27,5 кВ. В блоке программным путем реализованы следующие защиты.

- Направленная максимальная токовая защита (МТЗ) от междуфазных повреждений с контролем тока в трех фазах. Первая и вторая ступени с независимыми, а третья — с независимой или зависимой времятоковыми характеристиками. Возможность выбора одной из двух зависимых времятоковых характеристик.

- Защита минимального напряжения (ЗМН) с контролем значений двух измеряемых фазных напряжений и третьего вычисляемого, с действием на отключение и/или на сигнализацию, с блокировкой по внешнему сигналу и с возможностью ввода контроля включенного состояния выключателя.

- Защита от подпитки (ЗП) со стороны контактной сети 27,5 кВ при отключении на высокой стороне тягового трансформатора с контролем углов сдвига фаз и возможностью ввода защиты от перенапряжения с контролем двух измеряемых и вычисляемого значений фазных напряжений, с действием на отключение и/или на сигнализацию.

- Двухступенчатая направленная дистанционная защита (НДЗ) по двум фазам, с действием на отключение и/или на сигнализацию. Автоматический ввод ускорения НДЗ при включении выключателя и по входным дискретным сигналам. Две программы НДЗ по уставкам и программным ключам.

- Защита от замыканий на землю по входному дискретному сигналу.

- ЛЗШ реализует функцию ЛЗШ-приемник, с ускорением действия запущенных ступеней ДЗ и МТЗ по входному дискретному сигналу ЛЗШп.

Блок БМРЗ-ФВВ, кроме того, выполняет следующие функции автоматики и управления выключателем:

- УРОВ — реализует функцию УРОВ-датчик. Сигнал «УРОВд» выдается при невыполнении команды на отключение выключателя с контролем значения тока фаз.

Управление ВВ — обеспечивается местное и дистанционное

управление вакуумным выключателем с защитой от многократного включения, контролем длительности цикла управления, а также диагностикой исправности цепей управления. Расчет ресурса ВВ с учетом данных коммутационной стойкости [6].

Схема внешних подключений блока приведена на рис. 9.

Блок *БМРЗ-ТП-ВВ* используется для защиты, автоматики и управления выключателем ввода РУ-10 кВ. В нем реализованы следующие защиты:

- Трехступенчатая МТЗ от междуфазных повреждений с контролем тока в трех фазах, с комбинированным пуском по напряжению, с переключением программ по дискретному сигналу. Первая и вторая ступени с независимыми, а третья — с независимой или зависимой времятковыми характеристиками. Возможность выбора одной из двух зависимых времятковых характеристик. Автоматический ввод ускорения МТЗ при включении выключателя.

- Одноступенчатая защита от однофазного замыкания на землю (033) — с независимой времятковой характеристикой. Может выполняться с одной или двумя выдержками времени, с контролем тока и (или) напряжения нулевой последовательности, направленная или ненаправленная.

- Защита от несимметрии и обрыва фазы питающего фидера выполнена с контролем тока обратной последовательности, действует на отключение и сигнализацию, может быть выведена из действия программно.

- ЛЗШ реализует функцию приемника ЛЗШ.

Кроме того этот блок выполняет следующие функции автоматики и управления коммутационными аппаратами:

- Двукратное АПВ с возможностью блокировки входными дискретными сигналами при неисправности БМРЗ или выключателя, при срабатывании логической защиты шин и первой ступени МТЗ.

- УРОВ — реализует функцию УРОВ-датчик и УРОВ-приемник. Сигнал УРОВ-датчик «УРОВд» выдается при невыполнении команды на отключение выключателя и снимается по факту возврата защит или снятия входных сигналов.

- АВР реализовано с контролем значения фазных напряжений, линейных напряжений сборных шин и положения коммутационных аппаратов.

- Управление коммутационными аппаратами — обеспечивается местный и дистанционный режимы управления выключателем, защита от многократного включения и длительного протекания тока в катушках управления, а также контроль положения и исправности цепей управления.

Схема внешних подключений блока приведена на рис. 10.

Для защиты вводов РУ-35 кВ используется блок *БМРЗ-СПН*. В нем содержатся следующие защиты:

- Трехступенчатая МТЗ и 033 от междуфазных повреждений и замыканий на землю с контролем тока в трех фазах и тока  $3/0$ . Первая и вторая ступени с независимыми, а третья — с независимой или зависимой времятоковыми характеристиками. Возможность выбора одной из двух зависимых времятоковых характеристик. Автоматический ввод ускорения действия защит при включении ВВ.

- ЗМН с контролем трех фазных напряжений, с возможностью блокировки по пуску первых ступеней МТЗ и 033 и контроля включенного положения ВВ, с действием на отключение и/или сигнал.

- Защита от несимметрии и обрыва фазы питающего фидера — с контролем тока обратной последовательности, с действием на отключение и сигнализацию.

Блок *БМРЗ-СПН* выполняет также следующие функции автоматики\* и управления коммутационными аппаратами:

- Двукратное АПВ с возможностью ввода одного или обоих циклов. Оба цикла АПВ могут блокироваться входными дискретными сигналами

при неисправности БМРЗ или выключателя, при срабатывании логической защиты шин и первой ступени МТЗ.

- УРОВ — реализует функцию УРОВ-датчик и УРОВ-приемник. Сигнал «УРОВд» выдается при невыполнении команды на отключение выключателя, снимается по факту возврата защит или снятия входных сигналов.
- Управление коммутационными аппаратами КА (ВВ и ЛР) — обеспечивается местный и дистанционный режимы управления КА, контроль состояния и обнаружение самопроизвольного отключения. Осуществляется расчет ресурса ВВ с учетом коммутационной стойкости.
- Схема внешних подключений приведена на рис. 11.

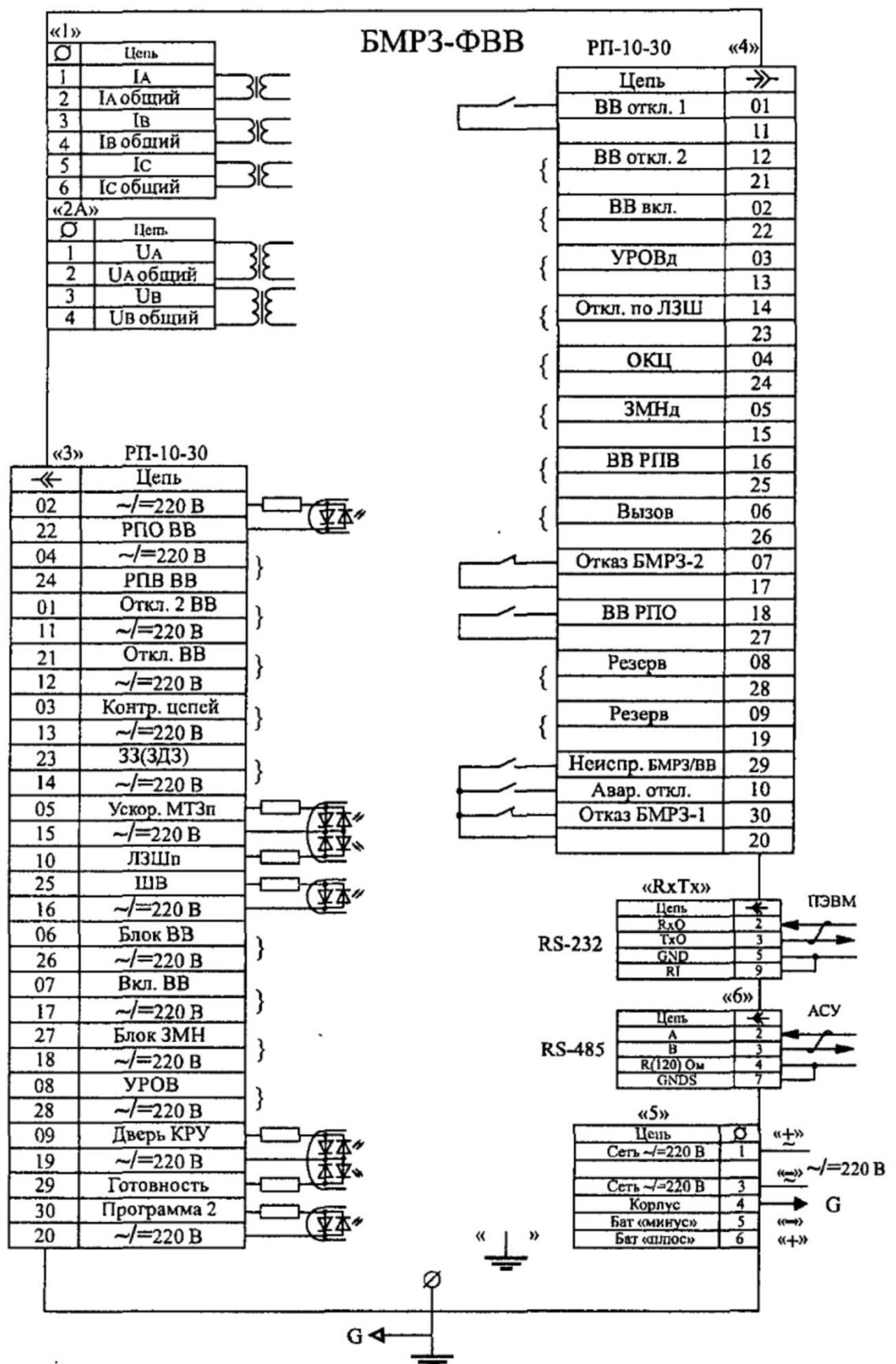


Рисунок 9 Схема внешних подключений БМРЗ – ФВВ (базовое исполнение)

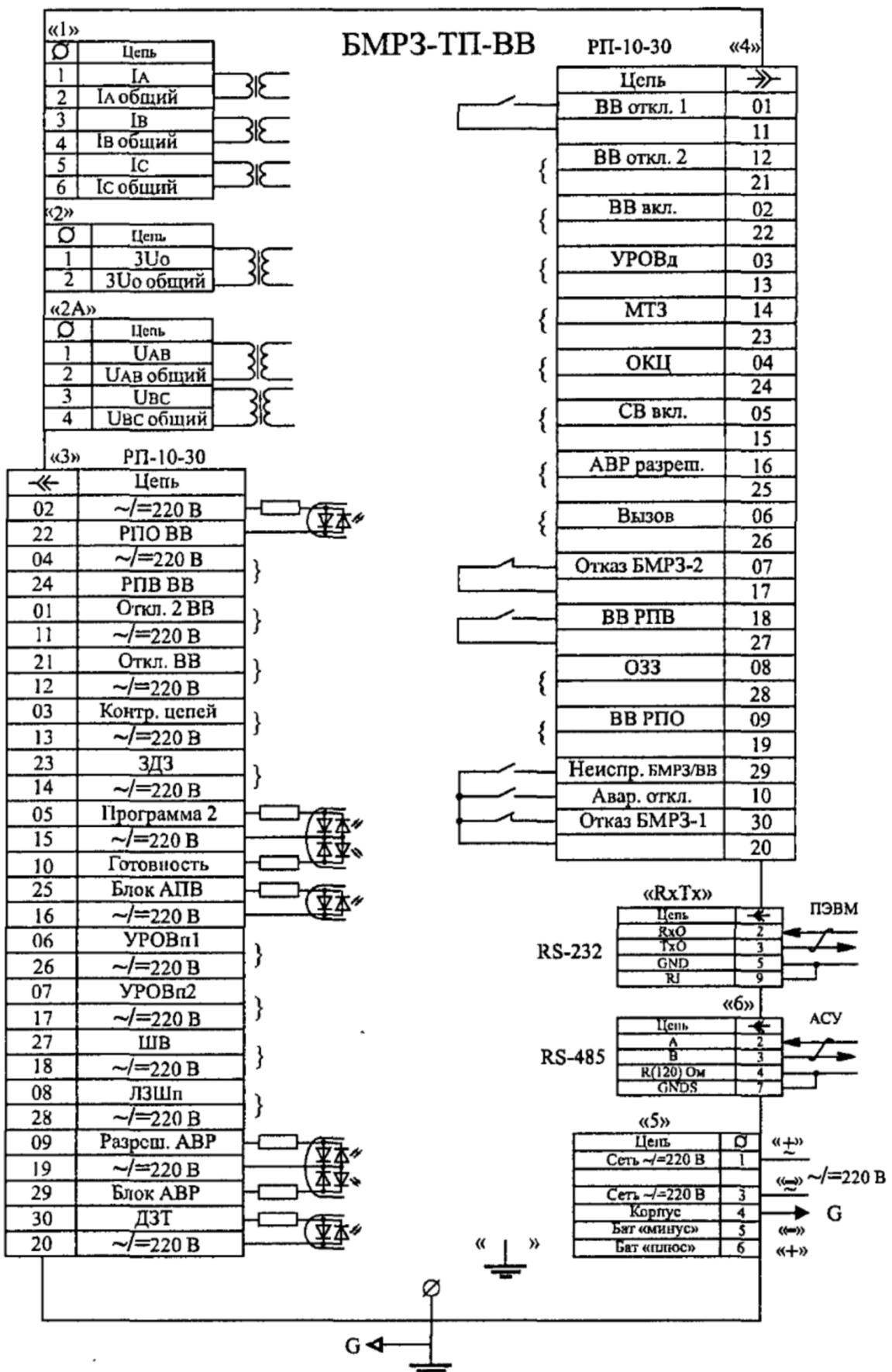


Рис. 10 Схема внешних подключений БМРЗ – ТП - ВВ (базовое исполнение)

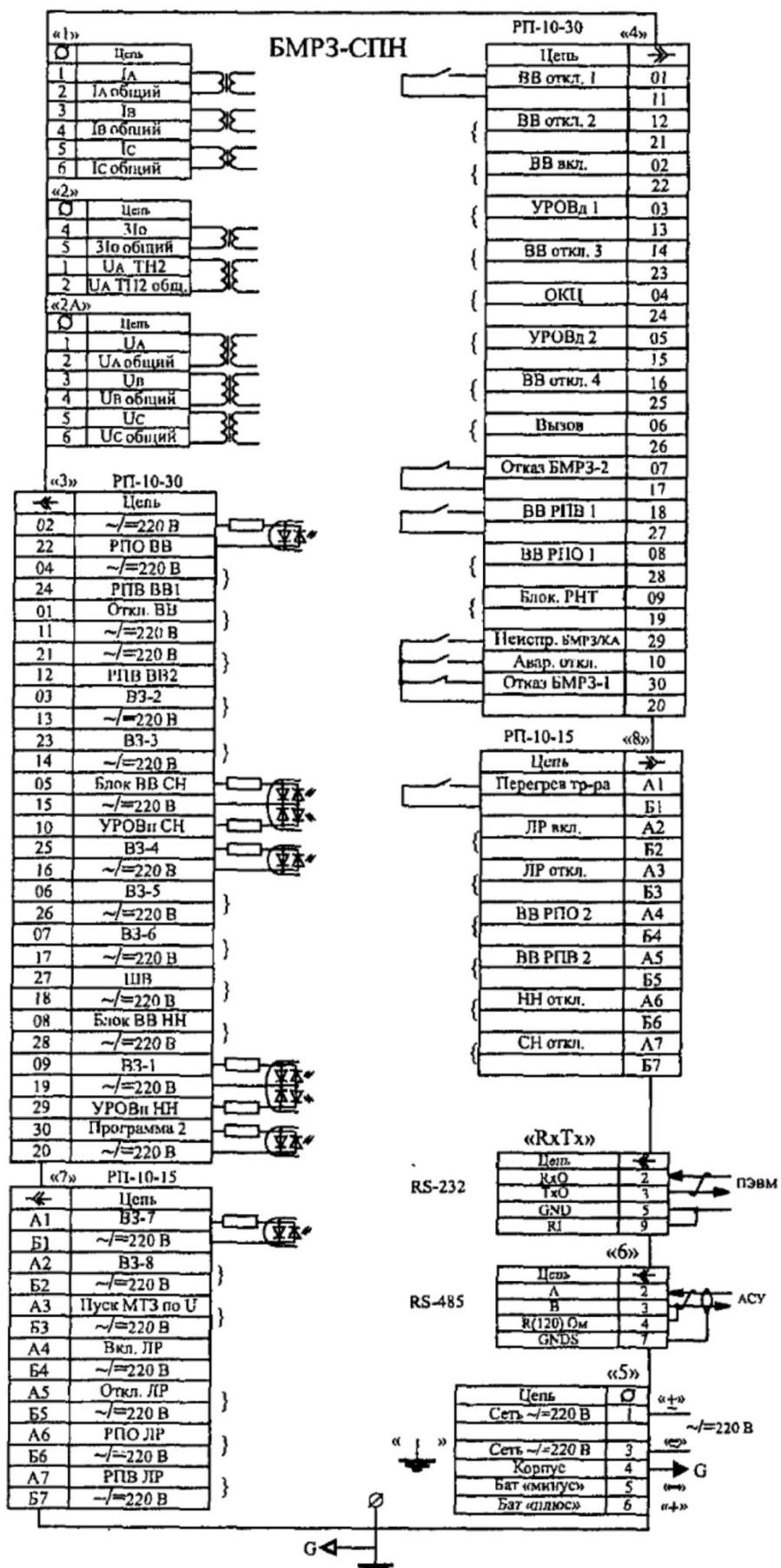


Рис. 11 Схема внешних подключений БМРЗ – СПН (базовое исполнение)

Электронный комплекс «Сейма» содержит такой же набор защит, однако дифференциальная защита в нем имеет особенности. В плечи этой защиты (рис. 12) во все три фазы включены низкоомные выравнивающие резисторы  $R1$  и  $R2$ . Падения напряжения на этих резисторах пропорциональны токам соответственно верхнего и нижнего плеч защиты. Защита реагирует на разность падений напряжения на этих резисторах. Резисторы выполняются переменными. Их сопротивления подбирают так, чтобы в нормальном режиме падения напряжения на резисторах были примерно одинаковы. Таким образом осуществляется компенсация неравенства вторичных токов трансформаторов тока [6].

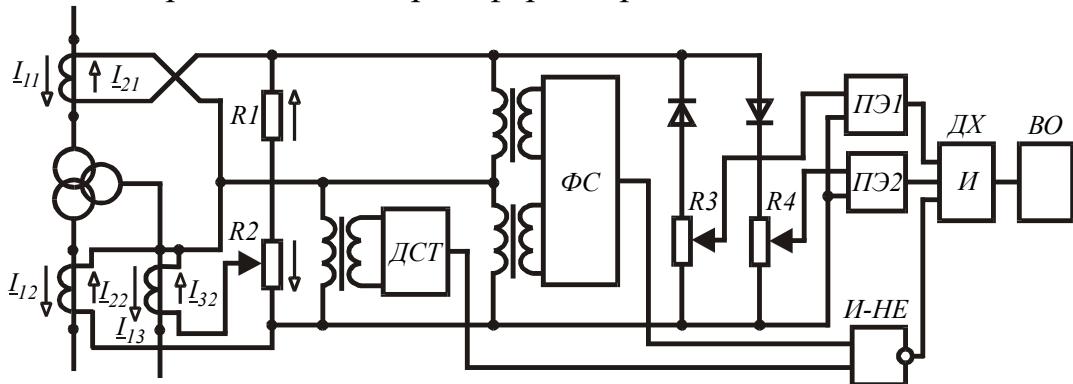


Рис. 12 Структурная схема дифференциальной защиты трансформатора в комплексе «Сейма»

Разность падений напряжения на резисторах  $R1$  и  $R2$  подается через потенциометры  $R3$  и  $R4$  на входы пороговых элементов  $\text{ПЭ1}$  и  $\text{ПЭ2}$ . Последовательно с потенциометрами  $R3$  и  $R4$ , которые служат для регулирования уставки срабатывания пороговых элементов, включены диоды. Поэтому  $\text{ПЭ1}$  и  $\text{ПЭ2}$  реагируют на входные сигналы различной полярности. Пороговые элементы устанавливаются во всех трех фазах.

При к.з. внутри зоны защиты ток в резисторе  $R2$  исчезает (при одностороннем питании) либо меняет направление на противоположное (при двустороннем питании). В обоих случаях напряжение на входах  $\text{ПЭ1}$  и  $\text{ПЭ2}$  резко увеличивается, они срабатывают и подают в логическую часть защиты сигнал, который должен привести к срабатыванию короткозамыкателя и отключению трансформатора.

Блокировка защиты от неверных действий при внешних к.з. осуществляется датчиком сквозного тока  $\text{ДСТ}$  и фазосравнивающим органом  $\text{ФС}$ . Уставка срабатывания  $\text{ДСТ}$  выбирается по такому току внешнего к.з., который может вызвать ложное срабатывание пороговых элементов  $\text{ПЭ1}$  и  $\text{ПЭ2}$  из-за неравенства падений напряжений на резисторах  $R1$  и  $R2$ . Орган  $\text{ФС}$  сравнивает направления токов в плечах защиты. При внешнем к.з. и в нормальном режиме эти токи имеют направление, показанное стрелками на рис. 12. Такое направление соответствует условию срабатывания органа  $\text{ФС}$ . Выходные сигналы

органов  $ДСТ$  и  $ФС$  через ячейку  $I$ — $НЕ$  поступают в логический орган  $I$  и запрещают действие защиты, даже если  $ПЭ1$  и  $ПЭ2$  сработали. При к.з. в зоне защиты направление тока в резисторе  $R2$  изменяется на противоположное,  $ФС$  при этом не срабатывает и сигнал блокировки защиты в логический орган  $I$  не поступает.

Блокировка от неправильных действий защиты при включении осуществляется сравнением амплитуд тока в соседних полупериодах и в смежных фазах. Элемент  $ПЭ1$  реагирует на ток одного, а элемент  $ПЭ2$ — на ток другого полупериода. Оба элемента выполнены с временем возврата не менее 0,01 с, т. е., сработав в одном полупериоде, пороговый элемент остается в возбужденном состоянии еще и в следующем полупериоде. Логический орган  $I$  выдает сигнал на отключение лишь в том случае, если  $ПЭ1$  и  $ПЭ2$  одновременно находятся в возбужденном состоянии, а это происходит тогда, когда и положительная и отрицательная амплитуда напряжения на резисторах  $R1$  и  $R2$  больше уставки срабатывания пороговых элементов. Из-за большой апериодической составляющей броска тока намагничивания при включении будет срабатывать только один пороговый элемент, поэтому логический орган  $I$ , контролирующий ток в данной фазе, команды на отключение выдавать не будет.

Однако при включении трансформатора возможно, что в одной из фаз ток имеет форму, а в другой — ток периодический. При периодическом токе амплитуды в смежных полупериодах одинаковы и могут оказаться достаточными для срабатывания  $ПЭ1$  и  $ПЭ2$  в этой фазе. С тем, чтобы такой режим не приводил к ложному срабатыванию защиты, команда на отключение трансформатора (если защита не блокируется органами  $ДСТ$  и  $ФС$ ) выдается только в том случае, когда элементы  $ПЭ1$  и  $ПЭ2$  срабатывают одновременно не менее чем в двух фазах [6].

В описанной дифференциальной защите достигается более эффективная отстройка от токов включения и внешних к.з., чем при использовании быстронасыщающихся трансформаторов. Если для реле РНТ и ДЗТ ток срабатывания защиты необходимо выбирать в соответствии с условием больше номинального тока трансформатора, то для электронной дифференциальной защиты величину коэффициента  $\kappa_{31}$  принимают равным 0,3—0,5 и она, следовательно, является более чувствительной.

Понижающие трансформаторы с первичным напряжением 35 кВ оборудуются продольной дифференциальной токовой защитой в трех фазах при мощности 6,3 МВ·А и более. Допускается ее применение для трансформаторов мощностью 4,0 МВ·А. Для защиты от к.з. в обмотках трансформатора и на его выводах применяется также токовая отсечка. Ее чувствительность при двухфазном к.з. на вводах, где установлена эта защита, проверяется при коэффициенте чувствительности не менее 2. Трансформаторы снабжаются газовой защитой, а также максимальными токовыми защитами от внешних к.з. и от перегрузки. Защита от внешних к.з. устанавливается в двух фазах, от перегрузки — в одной.

Трансформаторы собственных нужд оборудуются токовой отсечкой и максимальной токовой защитой с выдержкой времени, устанавливаемых на стороне ВН в двух фазах. Уставка срабатывания выбирается с учетом увеличения нагрузки при отключении параллельно работавшего трансформатора собственных нужд ( $I_{h\max} = 2I_{t,nom}$ ). Чувствительность проверяется при  $I_{k\min} = I_k^{(1)}$ . Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5. Если это условие не выполняется, то допускается принимать  $I_{k\min} = I_k^{(2)}$ , где  $I_k^{(2)}$  — ток к.з. на выводах обмотки НН.

Кроме того, на стороне НН в одной фазе устанавливается защита от перегрузки в виде максимальной токовой защиты с выдержкой времени и действием на сигнал.

Микропроцессорная защита БМРЗ содержит специальный блок БМРЗ-ТСП для трансформаторов собственных нужд в РУ-27Б5 кВ и РУ-10 кВ, в котором реализуются следующие защиты.

- Трехступенчатая МТЗ от междуфазных повреждений с контролем тока в трех фазах. Первая и вторая ступени с независимыми, а третья — с независимой или зависимой времятоковыми характеристиками. Возможность выбора одной из двух зависимых времятоковых характеристик.. Автоматический ввод ускорения МТЗ при включении ВВ.

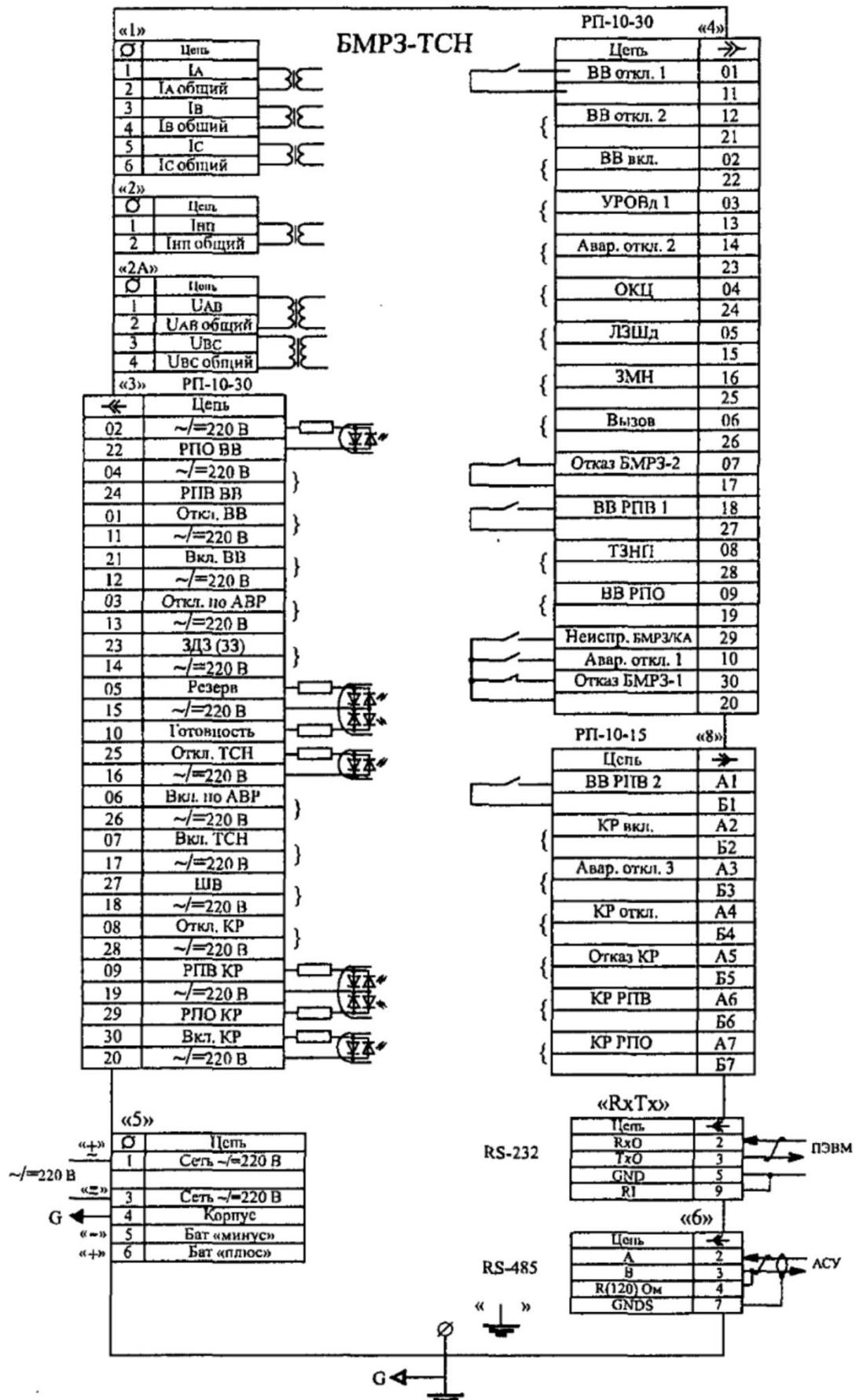
- Токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП), действующая на отключение и/или на сигнализацию с одной выдержкой времени.

- Защита от несимметрии и от обрыва фазы питающего фидера — с контролем тока обратной последовательности, действующая на отключение и сигнализацию.

- Защита минимального напряжения (ЗМН) с контролем двух линейных напряжений и действием на отключение и сигнализацию и/или только на сигнализацию.

- Логическая защита шин (ЛЗШ) комплектуется датчиками. Блок реализует ЛЗ1Л с параллельным соединением датчиков.

Этот блок реализует, кроме того, следующие функции автоматики и управления коммутационными аппаратами:



• Рис. 13 Схема внешних подключений БМР3 – ТСН (базовое исполнение)

выдается при невыполнении команды на отключение выключателя с контролем значения тока фаз и снимается по факту возврата защит

- Управление коммутационными аппаратами — обеспечивается оперативное и автономное управление ВВ и контактором. Осуществляется расчет ресурса ВВ с учетом коммутационной стойкости.

- Защита от несоответствия положения коммутационных аппаратов обеспечивает защиту ТСН в режиме дистанционного управления.

Схема внешних подключений приведена на рисунке 13.

### **1.9 Требования к устройствам электроснабжения по безопасности движения электрифицированных железных дорог**

Согласно Правилам Технической Эксплуатации Железных дорог в Республике Узбекистан (ПТЭ), предъявляются следующие требования к сооружениям и устройствам электроснабжения железных дорог.

Устройства электроснабжения должны обеспечивать надежное электроснабжение:

- электроподвижного состава для движения поездов с установленными весовыми нормами, скоростями и интервалами между ними при требуемых размерах движения;
- устройств СЦБ, связи и вычислительной техники как потребителей электрической энергии I категории. С разрешения АО «Узбекистон темир йуллари» до завершения переустройства допускается электроснабжение этих устройств по II категории;
- всех остальных потребителей железнодорожного транспорта в соответствии с установленной АО «Узбекистон темир йуллари» категорией.

При наличии аккумуляторного резерва источника электроснабжения автоматической и полуавтоматической блокировки он должен быть в постоянной готовности и обеспечивать бесперебойную работу устройств СЦБ и переездной сигнализации в течение не менее 8 ч при условии, что питание не отключалось в предыдущие 36 ч.

Время перехода с основной системы электроснабжения автоматической и полуавтоматической блокировки на резервную или наоборот не должно превышать 1,3 с.

Для обеспечения надежного электроснабжения должны проводиться периодический контроль состояния сооружений и устройств электроснабжения, измерение их параметров вагонами-лабораториями,

приборами диагностики и осуществляется плановые ремонтные работы.

Уровень напряжения на токоприемнике электроподвижного состава должен быть не менее 21 кВ при переменном токе, 2,7 кВ при постоянном токе и не более 29 кВ при переменном токе и 4 кВ при постоянном токе.

На отдельных участках с разрешения АО «Узбекистон темир йуллари» допускается уровень напряжения не менее 19 кВ при переменном токе и 2,4 кВ при постоянном токе.

Номинальное напряжение переменного тока на устройствах СЦБ должно быть 110, 220 или 380 В.

Отклонения от указанных величин номинального напряжения допускаются в сторону уменьшения не более 10%, а в сторону увеличения — не более 5%.

Устройства электроснабжения должны защищаться от токов короткого замыкания, перенапряжений и перегрузок сверх установленных норм.

Металлические подземные сооружения (трубопроводы, кабели и т.п.), а также металлические и железобетонные мосты, путепроводы, опоры контактной сети, светофоры, гидроколонки и т. п., находящиеся в районе линий, электрифицированных на постоянном токе, должны быть защищены от электрической коррозии.

Тяговые подстанции линий, электрифицированных на постоянном токе, а также электроподвижной состав должны иметь защиту от проникновения в контактную сеть токов, нарушающих нормальное действие устройств СЦБ и связи.

Высота подвески контактного провода над уровнем верха головок рельса должна быть на перегонах и станциях не ниже 5750 мм, а на переездах не ниже 6000 мм.

В исключительных случаях на существующих линиях это расстояние в пределах искусственных сооружений, расположенных на путях станций, на которых не предусматривается стоянка подвижного состава, а также на перегонах с разрешения ГАЖК может быть уменьшено до 5675 мм при электрификации линии на переменном токе и до 5550 мм — на постоянном токе.

Высота подвески контактного провода не должна превышать 6800 мм.

В пределах искусственных сооружений расстояние от токонесущих элементов токоприемника и частей контактной сети, находящихся под напряжением, до заземленных частей сооружений и подвижного состава должно быть не менее 200 мм на линиях, электрифицированных на постоянном токе, и не менее 350 мм — на переменном токе.

В особых случаях на существующих искусственных сооружениях с разрешения АО «Узбекистон темир йуллари» может допускаться уменьшение указанных расстояний.

Расстояние от оси крайнего пути до внутреннего края опор контактной сети на перегонах и станциях должно быть не менее 3100 мм.

Опоры в выемках должны устанавливаться вне пределов кюветов.

В особо сильно снегозаносимых выемках (кроме скальных) и на выходах из них (на длине 100 м) расстояние от оси крайнего пути до внутреннего края опор контактной сети должно быть не менее 5700 мм. Перечень таких мест определяется председателем ГАЖК.

На существующих линиях до их реконструкции, а также в особо трудных условиях на вновь электрифицируемых линиях расстояние от оси пути до внутреннего края опор допускается не менее: 2450 мм — на станциях и 2750 мм — на перегонах.

Все указанные размеры установлены для прямых участков пути.

На кривых участках эти расстояния должны увеличиваться в соответствии с габаритным уширением, установленным для опор контактной сети.

Взаимное расположение опор контактной сети, воздушных линий и светофоров, а также сигнальных знаков должно обеспечивать хорошую видимость сигналов и знаков.

Все металлические сооружения (мосты, путепроводы, опоры), на которых крепятся элементы контактной сети, детали крепления контактной сети на железобетонных опорах, железобетонных и неметаллических искусственных сооружениях, а также отдельно стоящие металлические конструкции (гидроколонки, светофоры, элементы мостов и путепроводов и др.), расположенные на расстоянии менее 5 м от частей контактной сети, находящихся под напряжением, должны быть заземлены или оборудованы устройствами защитного отключения при попадании на сооружения и конструкции высокого напряжения.

Заземлению подлежат также все расположенные в зоне влияния контактной сети переменного тока металлические сооружения, на которых могут возникать опасные напряжения.

На путепроводах и пешеходных мостах, расположенных над электрифицированными путями, должны быть установлены предохранительные щиты и сплошной настил в местах прохода людей для ограждения частей контактной сети, находящихся под напряжением.

Контактная сеть, линии автоблокировки и продольного электроснабжения напряжением свыше 1000 В должны разделяться на отдельные участки (секции) при помощи воздушных промежутков (изолирующих сопряжений), нейтральных вставок, секционных и врезных изоляторов, разъединителей.

Опоры контактной сети или щиты, установленные на границах воздушных промежутков, должны иметь отличительную окраску. Между этими опорами или щитами запрещается остановка электроподвижного состава с поднятым токоприемником.

Схема питания и секционирования контактной сети, линий автоблокировки и продольного электроснабжения должна быть утверждена председателем АО «Узбекистон темир йуллари». Выкопировки из схемы включаются в техникораспорядительный акт

станции.

Переключение разъединителей контактной сети электродепо и экипировочных устройств, а также путей, где осматривается крышевое оборудование электроподвижного состава, производится работниками локомотивного депо. Переключение остальных разъединителей производится только по приказу энергодиспетчера.

Приводы разъединителей с ручным управлением должны быть заперты на замки.

Порядок переключения разъединителей контактной сети, а также включателей и разъединителей линии автоблокировки и продольного электроснабжения, хранения ключей от запертых приводов разъединителей, обеспечивающий бесперебойность электроснабжения и безопасность производства работ, устанавливается начальником Центра энергоснабжения АО «Узбекистон темир йуллари»

Переключение разъединителей и выключателей производится по приказу энергодиспетчера работниками других служб, прошедших обучение.

Расстояние от нижней точки проводов воздушных линий электропередачи напряжением выше 1000 В до поверхности земли при максимальной стреле провеса должно быть не менее:

- на перегонах 6,0 м;
- в том числе в труднодоступных местах 5,0 м;
- на пересечениях с автомобильными дорогами, станциях и в населенных пунктах 7,0 м.

При пересечениях железнодорожных путей расстояние от нижней точки проводов воздушных линий электропередачи напряжением выше 1000 В до уровня верха головки рельса не электрифицированных путей должно быть не менее 7,5 м.

На электрифицированных и подлежащих электрификации линиях это расстояние до проводов контактной сети должно устанавливаться в зависимости от уровня напряжения пересекаемых линий в соответствии с Правилами устройства электроустановок и по техническим условиям железной дороги.

## II Экономическая часть

### 2.1 Расчет экономической эффективности от внедрения релейной защиты ЦЗА-27,5-ФКС тяговой подстанции

#### Расчет затрат на установку и эксплуатацию ЦЗА-27,5

Целью экономической части данного дипломного проекта является расчёт экономической эффективности от внедрения релейной защиты ЦЗА-27,5-ФКС тяговой подстанции количеством 7 штук за год. В расчёте не учитываются расходы на заработную плату обслуживающего персонала и прочие эксплуатационные расходы, так как капитальный ремонт блока ЦЗА-27,5-ФКС проводится персоналом релейной защиты один раз в шесть лет в течение одной рабочей смены [12].

1. Стоимость блоков микропроцессорной релейной защиты (ЦЗА). Расходы на приобретение блоков микропроцессорной релейной защиты БМРЗ -27,5 сносим в таблицу 2.

Таблица 2  
Стоимость приобретения блоков ЦЗА-27,5 кВ тяговой подстанции.

Наименование блока	Место установки	Количество блоков, шт	Стоимость одного блока, сум	Общая стоимость, сум
ЦЗА-27,5	Фидеры контактной сети тяговой подстанции	7	29 006 550	203 045 850

Расчет общих затрат на приобретение блоков ЦЗА-27,5.

Общие затраты на приобретение блоков ЦЗА-27,5 кВ составляют:

$$K_{об.у.е.} = n * K_{ФКС}$$

где  $K_{ФКС}$  - стоимость одного блока фидера контактной сети, сум;

$n$  - количество блоков, шт;

$$K_{об.} = 7 * 29 006 550 = 203 045 850 \text{ сум.}$$

Текущие затраты в системе железных дорог, необходимые для обеспечения производственного процесса в данном периоде, называются эксплуатационными расходами. Для данного расчета они будут равны амортизационным отчислениям, так как затраты на оплату труда, отчисления на социальные нужды, расходы на материалы и прочие материальные затраты, топливо, энергию и прочие затраты не учитываются.

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_{AM},$$

где  $\mathcal{E}_{AM}$  - эксплуатационные расходы на амортизационные отчисления, сум.

Расчет амортизационных отчислений на:

Амортизационные отчисления планируются, исходя из среднегодовой стоимости основных средств и норм отчислений на их полное восстановление.

$$\mathcal{E}_{\text{ам}} = 0,05 * K_1,$$

$$\mathcal{E}_{\text{ам}} = 0,05 * 203\,045\,850 = 10\,152\,293 \text{ сум}$$

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_{\text{ам}} = 10\,152\,293 \text{ сум}$$

2. Расчет затрат на установку и обслуживание УЭЗФМ-27,5

Таблица 3  
Стоимость блоков УЭЗФМ ФКС-27,5 кВ тяговой подстанции.

Наименование блока	Место установки	Количество блоков, шт	Стоимость одного блока, сум	Общая стоимость, сум
УЭЗФМ-ФКС	Фидеры контактной сети тяговой подстанции	7	14 235 000	99 645 000

Расчет общих затраты на приобретение блоков УЭЗФМ-ФКС-27,5.

$$K_{\text{об.у.е.}} = n * K_{\text{ФКС}}$$

$$K_{\text{об.у.е.}} = 7 * 14\,235\,000 = 99\,645\,000$$

Расчет эксплуатационных расходов.

$$\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_{\text{ам}} + \mathcal{E}_{\text{фзп}} + \mathcal{E}_{\text{сн}} + \mathcal{E}_{\text{ээ}}$$

где:  $\mathcal{E}_{\text{ам}}$  - эксплуатационные расходы на амортизационные отчисления, сум.

$\mathcal{E}_{\text{фзп}}$  - фонд заработной платы

$\mathcal{E}_{\text{сн}}$  - отчисления на социальные нужды

$\mathcal{E}_{\text{ээ}}$  - затраты на электроэнергию

Расчет амортизационных отчислений

$$\mathcal{E}_{\text{ам}} = 0,05 * K_2$$

$$\mathcal{E}_{\text{ам}} = 0,05 * 99\,645\,000 = 4\,982\,250 \text{ сум}$$

Определение фонда заработной платы с учетом премиальных и 13-й зарплаты по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{фзп}} = 12 * C_{\text{ЗП месяц}} + \frac{40\%}{100\%} * 12 * C_{\text{ЗП месяц}} + C_{\text{ЗП месяц}}$$

$$C_{\text{ЗП месяц}} = C_1 + 3 * C_2$$

где  $C_1$  - оклад старшего электромеханика, равный 1 500 000 сум;

$C_2$  - оклад электромехаников, равный 1 050 000 сум;

3 - количество электромехаников.

Оклады старшего электромеханика и электромехаников приняты приближенно.

$$C_{\text{ЗП месяц}} = 1\,500\,000 + 3 * 1\,050\,000 = 4\,650\,000 \text{ сум}$$

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{\phi 3p} &= 12 * 4650000 + \frac{40\%}{100\%} * 12 * 4650000 + 4650000 \\ &= 82770000 \text{ сум}\end{aligned}$$

Расчет отчислений на собственные нужды.

Отчисления на социальные нужды планируют в определенном размере от затрат на оплату труда. В Республике Узбекистан они составляют 25% от фонда заработной платы.

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{ch} &= 0,25 * \mathcal{E}_{\phi 3p} \\ \mathcal{E}_{ch} &= 0,25 * 82770000 = 20692725 \text{ сум}\end{aligned}$$

Расчет расходов на электроэнергию. Расходы на электроэнергию определяются по количеству оборудования и устройств, их мощности и времени работы.

$$\mathcal{E}_{ee} = \mathcal{P}_{ee} * 1,2 * K_{cn} * P_{ust} * F_{ob} * M_{cm} * K_3 ,$$

где  $\mathcal{P}_{ee}$ - стоимость 1 кВт\*ч электроэнергии,  $\mathcal{P}_{ee}=228,6$  сум/(кВт\*ч);

$K_{cn}$ - средний коэффициент спроса,  $K_{cn}=0.3$ ;

$P_{ust}$ - суммарная установленная мощность оборудования, кВт;

$F_{ob}$ - годовой фонд рабочего времени оборудования в одну смену

$F_{ob}=2004$  ч;

$M_{cm}$ - число смен работы оборудования,  $M_{cm}=3$ ;

$K_3$ - коэффициент загрузки,  $K_3=0,75$ .

Суммарную мощность оборудования примерно принимаем равной  $P_{ust}=0,11$  кВт.

$$\mathcal{E}_{ee} = 228,6 * 1,2 * 0,3 * 0,144 * 2004 * 3 * 0,75 = 53434,5 \text{ сум}$$

Эксплуатационные расходы составили:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_2 &= 4982250 + 82770000 + 22347900 + 53434,5 = 110153584,5 \\ \text{сум}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_2 &= 4982250 + 82770000 + 20692725 + 53434,5 \\ &= 108498409,5 \text{ сум}\end{aligned}$$

3. Рассчитываем срок окупаемости по приведенным

затратам

Расчет приведенных затрат для ЦЗА-27,5-ФКС.

$$\mathcal{E}_{privCZA} = \mathcal{E}_1 + E_h * K_1$$

где  $E_h$ - нормативный коэффициент эффективности принимаемый для тяговых подстанций 0,125

$$\mathcal{E}_{privCZA} = 10152293 + 0,125 * 203045850 = 35533024,25 \text{ сум}$$

Расчет приведенных затрат для УЭЗФМ.

$$\mathcal{E}_{privUEZFM} = \mathcal{E}_2 + E_h * K_2$$

$$\mathcal{E}_{\text{привУЭЗФМ}} = 108\ 498\ 409,5 + 0,125 * 99\ 645\ 000 = 120\ 954\ 034,5 \text{ сум}$$

Расчет разницы в приведенных затратах на УЭЗФМ и БМРЗ.

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{привУЭЗФМ}} - \mathcal{E}_{\text{привЦЗА}}$$

$$\Delta \mathcal{E} = 120\ 954\ 034,5 - 35\ 533\ 024,25 = 85\ 421\ 010,25 \text{ сум}$$

Срок окупаемости ЦЗА ФКС-27,5 находим по формуле:

$$T = \frac{K_1}{\Delta \mathcal{E}}$$
$$T = \frac{203\ 045\ 850}{85\ 421\ 010,25} = 2,377 \text{ года}$$

Вывод: Замена электронной защиты УЭЗФМ на блоки микропроцессорной защиты ЦЗА-27,5-ФКС на тяговой подстанции выгодна. Срок окупаемости составил 2,377 года и укладывается в нормативный срок окупаемости, составляющий 8 лет. Это объясняется тем, что при вводе в эксплуатацию защиты ЦЗА-27,5-ФКС не требуется обслуживающего персонала. Кроме того, новая защита наиболее надежна и функциональна, чем морально устаревшая УЭЗФМ.

### III Охрана труда

#### 3.1 Расчет заземляющего устройства

Электрический ток, проходя через тело человека, вызывает частичное или полное поражение его организма [13].

Ток 0,1 А смертелен для человека (смертельным может быть и ток 0,025-0,05 А, если он проходит длительно, более 2-3 с по пути рука-рука, рука-ноги, т.е. через сердце и легкие). Нужно иметь в виду, что человека поражает проходящий через него ток, а не напряжение. Напряжение и сопротивление тела человека являются факторами, определяющими величину поражающего тока. Сопротивление тела человека в зависимости от среды и состояния человека находится в пределах от 100 тыс. до 600 Ом, а заземляющее устройство тяговых подстанций изготавливают сопротивлением не более 0,5 Ом. При наличии заземления человека и заземлитель можно рассматривать как параллельно включенные сопротивления, находящиеся под напряжением однофазного замыкания на землю.

Следовательно, если сопротивление заземления значительно меньше сопротивления человека, то ток проходящий через заземление, значительно больше тока, проходящего через тело человека.

Расчёт заземлителей ведётся методом коэффициентов использования в следующем порядке.

1. Определяют расчётный ток однофазного замыкания и необходимое сопротивление  $R_3$  заземляющего устройства. При совмещении заземляющих устройств различных напряжений или назначений принимается меньшая из требуемых Правилами величин сопротивлений.

2. Определяют по результатам измерений расчётное значение удельного сопротивления земли  $\rho_{\text{расч}}$  в месте устройства заземлителя с учётом промерзания или высыхания.

3. Определяют предварительно конфигурацию заземлителя – ряд, прямоугольник и т.п. с учётом возможности его размещения на отведённой территории.

4. Определяют сопротивление  $r_b$  принятого типа вертикального электрода и приближенное их число, задаваясь предварительно средним значением коэффициента использования, уточняют их размещение на располагаемой территории с учётом, что расстояние между вертикальными электродами должно быть не

меньше их длины. С увеличением расстояния использование электродов возрастает, но при этом расширяется площадь, занимаемая заземлителем, и увеличивается объём земляных работ.

5. Определяют длину горизонтальных электродов по плану размещения заземлителя (горизонтальные электроды осуществляют связь между вертикальными) и определяются их сопротивления  $r_g$  и коэффициент их использования.

6. Определяют необходимое (максимальное) сопротивление вертикальных электродов по выражению:

$$R_v \leq \frac{r_g R_3}{r_g - R_3}$$

7. Определяют число вертикальных электродов с учётом уточнённого коэффициента использования.

8. Уточняют конфигурацию заземлителя и его размеры.

Таким образом, расчёт ведётся путём последовательного приближения.

В расчётах необходимо учитывать в первую очередь сопротивление естественных заземлителей. Вначале определяется путём измерений их сопротивление растеканию  $r_e$ . Если сопротивление их достаточно, другие заземлители не требуются. Если требуется выравнивание потенциалов на площади установки, тогда независимо от сопротивления естественных заземлителей выполняется сетка из полос [15].

При недостаточном сопротивлении естественных заземлителей сопротивление искусственных заземлителей  $r_{иск}$  определяется по формуле:

$$r_{иск} = \frac{r_e R_3}{r_e - R_3},$$

где  $R_3$  – необходимое сопротивление растеканию заземляющего устройства.

При трёх видах электродов их общее сопротивление определяется по формуле:

$$r_{\Sigma} = \frac{r_1 r_2 r_3}{r_1 r_2 + r_1 r_3 + r_2 r_3}$$

При расчётах заземляющих устройств надо всегда помнить, что они дают приближённые результаты, прежде всего из-за неточности исходных параметров удельного сопротивления земли, условий промерзания, влажности и т.д. Поэтому некоторый запас в расчётах более оправдан, чем затрата средств и времени на расширение при сдаче в

эксплуатацию. Округление цифр в расчётах следует принимать в сторону запаса.

Сопротивление заземляющего устройства нейтрали трансформатора на стороне 400 В должно быть не более 4 Ом. С другой стороны, необходимое сопротивление заземляющего устройства должно удовлетворять требованию Правил для установок 27,5 кВ.

$$R_3 \leq \frac{125}{I_3} = \frac{125}{40} \leq 3,12 \text{ Ом}$$

Таким образом, сопротивление заземляющего устройства должно быть принято меньшим из двух требуемых, т.е. не более 3,12 Ом в любое время года.

Заземлитель решено выполнить из стержней диаметром 12 мм, длиной 5 м, соединённых стальной полосой 40x4 мм. Удельное сопротивление земли по измерениям методом простого пробного электрода длиной 5 м, оказалось равным 80 Ом\*м, земля во время измерений средней влажности, коэффициент  $k_2 = 1$ . Пользуясь формулой, получаем расчётные значения удельного сопротивления с учётом промерзания и состояния земли во время измерений:

Для горизонтальных электродов

$$\rho_{\text{расч}} = k_c k_2 \rho_{\text{изм}} = 5 * 1 * 80 = 400 \text{ Ом * м}$$

Для вертикальных длиной 5 м

$$\rho_{\text{расч}} = 1,35 * 1 * 80 = 108 \text{ Ом * м}$$

При известных длине и ширине защищаемого здания или площади, где может разместиться заземлитель, можно определить общую длину горизонтальных электродов (полос). Допустим, что она равна 60 м (рис 1). Тогда сопротивление их равно:

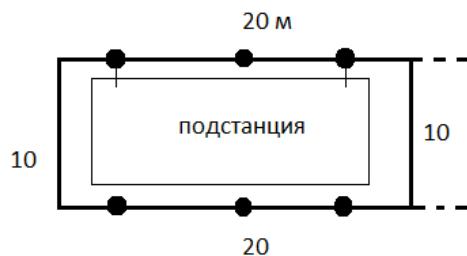


Рис. 14

$$r_g = \frac{0,366 * 400}{60} \lg \frac{2 * 60^2}{4 * 10^{-3} * 0,7} = 13,2 \text{ Ом}$$

Сопротивление стержня:

$$r_b = \frac{0,366 * 108}{5} * \left( \lg \frac{2,5}{12 * 10^{-3}} + \frac{1}{2} * \lg \frac{4 * 3,2 + 5}{4 * 3,2 - 5} \right) \approx 24,4 \text{ Ом}$$

Здесь 3,2 – расстояние от уровня земли до середины стержня. Определим приближенно число вертикальных электродов (стержней), считая, что сопротивление заземлителя достигается только ими. Примем

предварительно коэффициент использования 0,5. Тогда на основе формулы:

$$n_{\text{в}} = \frac{r_{\text{в}}}{R_3 \eta_{\text{вк}}} = \frac{24,4}{3,12 * 0,5} \approx 15$$

Уточняем сопротивление полос с учётом их коэффициента использования и возможность за счёт их сопротивления уменьшить число стержней. Коэффициент использования полосы в контуре из 15 вертикальных электродов при  $a/l = 1$  равен 0,3. Тогда:

$$r_{\text{г}} = \frac{13,2}{0,3} = 44,1 \text{ Ом}$$

Необходимое сопротивление стержней:

$$R_{\text{в}} = \frac{r_{\text{г}} R_3}{r_{\text{г}} - R_3} = \frac{44,1 * 3,12}{44,1 - 3,12} = 3,36 \text{ Ом}$$

Уточнённое число стержней при  $\eta_{\text{вк}} = 0,55$  равно:

$$n_{\text{в}} = \frac{24,4}{3,36 * 0,55} = 13,2$$

Принимаем  $n_{\text{в}} = 14$ .

Таким образом, к заземлителю в виде прямоугольника необходимо добавить два стержня и соответственно 15 м полос. Уменьшение сопротивления с добавлением длины полос не учитываем.

## Заключение

Президент Узбекистана Шавкат Мирзиёев своим указом от 7 февраля 2017 года утвердил Стратегию действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах, которая представляет собой программу развития страны на ближайшие пять лет [1]. В разделе приоритетов по развитию экономики и промышленного производства указывается, что одним из направлений развития является «....проведение активной инвестиционной политики, направленной на модернизацию, техническое и технологическое обновление производства, реализацию проектов производственной, транспортно-коммуникационной и социальной инфраструктуры....». Поэтому разработка проектов технически и экономически эффективных производственных структур в сфере электроснабжения электрифицированных железных дорог является очень актуальной .

В системах электроснабжения возникают ненормальные режимы работы такие как короткие замыкания (к.з.) и перегрузки, которые характеризуются протеканием по электроснабжению токов, превышающих длительно допустимое значение. Перегрузки опасны вследствие чрезмерного превышения температуры токоведущих частей и преждевременного старения изоляции. Снижение или увеличение напряжения относительно предельных нормативных значений в энергосистеме также являются проявлением ненормальных режимов.

Автоматические устройства, служащие для выявления к.з. и ненормальных режимов и воздействующие на механизм отключения выполняются с помощью релейной защиты.

В выпускной работе дано современное состояние микропроцессорной релейной защиты электрооборудования тягового электроснабжения, произведен расчёт релейных защит фидера контактной сети тяговой подстанции и тока уставки токовой блокировки, исследования условий для замены релейной защиты УЭЗФМ – ФКС – 27,5 на ЦЗА – ФКС – 27,5 на тяговой подстанции, а также особенности защиты трансформаторов.

### **Список литературы:**

1. Послание Президента Республики Узбекистан Шавката Мирзиёева Олий Мажлису Ташкент – «Узбекистан» - 2018.
2. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог ГАЖК «O’zbekiston Temir Yo’llari», 2014 г.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ)/Государственная инспекция «Узгосэнергонадзор» - Ташкент «Fan – poligraf» , 2011 г.
4. Правила устройства электроустановок/ Москва: Главэнергонадзор России 2014 г.
5. Амиров С.Ф. « Elektrlashgan Temir Yo’llari Elektr Ta’minoti» / «Adabiyot uchqunlari» Ташкент – 2016.
6. Фигурнов Е.П. Релейная защита устройств электроснабжения. – М.: Транспорт, 2004 г.
7. Микроэлектронная защита фидеров контактной сети переменного тока (МЗКС). Руководство по эксплуатации.
8. Блок микропроцессорной релейной защиты БМРЗ. Руководство по эксплуатации.
9. Блок микропроцессорной релейной защиты фидеров контактной сети БМРЗ-ФКС. Руководство по эксплуатации.
10. Устройство цифровой защиты и автоматики фидера контактной сети ЦЗА-27,5-ФКС. Руководство по эксплуатации 2014 г.
11. Руководящие материалы по релейной защите систем тягового электроснабжения – ЦЭ ОАО «РЖД», 2005 г.
12. Дмитриева В.А., Журавель А.И., А.Д. Шишков. Экономика железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 2005 г.
13. М.Р. Найфельд «Заземление защитные меры электробезопасности» - 2001 г.
14. ГОСТ 12.1 030 – 81 ССБТ Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

15. Долин П.А. «Техника безопасности при строительно монтажных работах в энергетике» - 2002 г.

16. Правила устройства системы тягового электроснабжения железных дорог РФ/ МПС РФ, 2006.