

**ПРОФОБРАЗОВАНИЕ**

**Р.С. Ахметшин  
Е.А. Юдин  
М.Р. Ахметшин**



# **ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСТРОЙСТВ**

**НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «АЭТЕРНА»**

Р.С. Ахметшин    Е.А. Юдин    М.Р. Ахметшин

**ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ  
И АВТОМАТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ  
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСТРОЙСТВ**

НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «АЭТЕРНА»  
УФА, 2019

УДК 621.316  
ББК 31.2  
А 95

*Печатается по решению научно-технического совета отделения энергетики и информатизации Набережночелнинского института ФГБОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»*

**Рецензенты:**

*И.Х. Ибрафиров*

*доктор технических наук, профессор, Зав. отделением информационных технологий и энергетических систем Набережночелнинского института ФГБОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;*

*Р.В. Марданов*

*гл. инженер Нижнекамской ГЭС;*

*С.В. Дубровский, гл. энергетик ЗАО «ЧЕЛНЫВОДОКАНАЛ» структурного подразделения ПАО «КАМАЗ»;*

**А 95      Ахметшин.Р.С., Юдин Е.А., Ахметшин М.Р.**  
**Электронные комплексы средств защиты и автоматики оборудования высоковольтных устройств:** монография / .Р.С. Ахметшин, Е.А. Юдин, М.Р. Ахметшин. - Уфа: Аэтерна, 2019. – 174 с.

ISBN 978-5-00109-719-8

В издании представлен обзор применяемой релейной защиты и вторичной коммутации высоковольтного оборудования, применяемые при проектировании с использованием импульсной и цифровой техники, положений ПУЭ, типовых проектов и номенклатур технической документации заводов-изготовителей. Изложены принципы работы современной микропроцессорной, ее виды и перспективные направления РЗА.

Предназначено для работников энергетических предприятий, может применяться в учебном процессе при подготовке магистров и бакалавров по направлению "Электроэнергетика и электротехника".

УДК 621.316  
ББК 31.2

ISBN 978-5-00109-719-8

© ООО «АЭТЕРНА», 2019  
© Р.С. Ахметшин, Е.А. Юдин, М.Р. Ахметшин, 2019

Принятые сокращения:

АОПО – автоматика ограничения перегрузки оборудования.

АПВ – автоматическое повторное включение.

АТ – автотрансформатор.

БАПВ – быстродействующее автоматическое повторное включение.

БНН – блокировка при неисправностях в цепях напряжения.

ВЛ – воздушная линия.

ВН – высокое напряжение.

ВЧ – высокочастотный.

ГЩУ – главный щит управления.

ДЗ – дистанционная защита.

ДЗЛ – дифференциальная защита линии с торможением.

ДЗТ – дифференциальная защита с торможением.

ДЗО – дифференциальная защита ошиновки.

ДФЗ – дифференциально-фазная защита.

ЗНР – защита от неполнофазного режима.

ИО – измерительный орган.

КЗ – короткое замыкание.

КРУ – комплектное распределительное устройство.

МП – микропроцессор.

МТЗ – максимальная токовая защита.

НН – низшее напряжение.

ОКН – орган контроля напряжения.

ОМП – определение места повреждения.

ПА – противоаварийная автоматика.

ПТЭ – правила технической эксплуатации.

ПУЭ – правила устройства электроустановок.

РАС – регистратор аварийных событий.

РЗА – релейная защита и автоматика.

РНТ – дифференциальное реле с насыщением.

РПН – регулирование напряжения под нагрузкой.

РУСН – распределительное устройство собственных нужд.

СВ – секционный выключатель.

СН – собственные нужды.

СШ – система шин.

ТНЗНП – токовая направленная защита нулевой последовательности;

ТНЗФ – токовая защита не отключенных фаз.

ТО – техническое обслуживание.

ТТ – трансформатор тока.

УРОВ – устройство резервирования отказа выключателя.

ФНОП – фильтр напряжения обратной последовательности.

ФТОП – фильтра тока обратной последовательности.

ЩПТ – щит постоянного тока.

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 7  |
| 1. Проектирование раздела РЗА и вторичных соединений.....  | 8  |
| 2. Составление заказных спецификаций.....  | 14 |
| 3. Содержание и основные положения (НТП) «Норм технологического проектирования ПС (электрических подстанций) переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ».....   | 29 |
| 4. Некоторые особенности в обозначении и маркировки элементов в принципиальных и монтажных схемах.....   | 36 |
| 5. Расчетная и пояснительная записка проектной документации.....   | 43 |
| 5.1 Основные требования к средствам РЗА системы электроснабжения.....  | 43 |
| 5.2. Структурная схема МПРЗА.....  | 44 |
| 5.3 Элементная база МПРЗА.....   | 46 |
| 5.4 Преимущества и виды МП РЗА.....  | 50 |
| 5.5 Функции МПРЗА.....   | 52 |
| 6. Расчетные нормированные виды отказов, повреждений и ненормальных режимов работы.....  | 53 |
| 6.1 Коммутация комплексами РЗА по отказам и нарушениям режимов серийными устройствами релейной защиты и противоаварийной автоматики в системах электроснабжения..... | 55 |
| а) на электрических подстанциях.....   | 55 |
| б) на электрических станциях.....  | 64 |
| в) на блоках генератор - (авто)трансформатор.....  | 68 |
| г) на линиях электропередач.....   | 69 |
| д) на линиях с незаземленной нейтралью трансформатора.....   | 78 |
| е) на сборных шинах.....   | 79 |
| 6.2 Принцип выбора комплектов электронных РЗА.....   | 80 |
| 7. Расчет токов короткого замыкания.....   | 81 |
| 8. Примеры расчета уставок релейных защит.....   | 88 |
| 9. Процесс проектирования.....   | 97 |
| 10. Проектное производство.....  | 99 |

|   |     |
|---|-----|
| 11. Устройства, предотвращающие отказ, аварию электрооборудования и работу релейной защиты.....         | 107 |
| 12. Устройство присоединения к измерительным трансформаторам.....                                       | 122 |
| 13. Заводы - изготовители современных устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики типы..... | 127 |
| 14. Терминалы SEPAM 20.....   | 138 |
| 15. Телемеханика, телеизмерение и телеуправление. ВЧ связь.....   | 153 |
| 16. Примеры оформления проектных чертежей.....  | 156 |
| 17. Основные положения по ревизии приборов, устройств и их элементов; эксплуатация и ремонт.....        | 168 |
| Список литературы.....  | 171 |

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время электроснабжение является очень актуальна для нашей страны. Множество предприятий, социально значимых и даже стратегических объектов просто не могут безопасно функционировать без отрасли электроснабжения. Поэтому важность обеспечения их надежно качественной электроэнергией очень высока. Но к сожалению, в процессе эксплуатации электрооборудования аварии и ненормальные режимы – неизбежность.

Так как вся энергосистема работает синхронно, то появление аварии или ненормального режима приводит к ее дестабилизации. Также авария может стать причиной большого экономического ущерба, если ее не выявить на стадии, когда она не принесла больших разрушений. Таким образом, в цели и задачи РЗиА входят:

1. Непрерывный контроль за состоянием всех элементов энергосистемы;
2. Определение ненормального режима или аварии, выбор действия;
3. Селективность – избирательность действия;
4. Восстановление, по возможности, нормального режима;
5. Повышение общей надежности.

Выявление и отключение повреждений следует производить очень быстро - в большинстве в течение сотых и десятых долей секунды, что может быть обеспечено только средствами автоматики. В связи с этим возникла необходимость в создании и применении автоматических устройств, защищающих энергосистему и ее элементы от опасных последствий повреждений и ненормальных режимов. Первоначально в качестве подобной защиты применялись плавкие предохранители. Впоследствии были созданы защитные устройства, выполняемые при помощи реле в электрических автоматах. Современный комплекс [25]



электротехнической релейной защиты и противоаварийной автоматики позволяет защитить энергосистему от всех видов аварий и ненормальных режимов и по возможности восстановить энергоснабжение неповрежденных участков. Тем самым позволяет повысить надежность электроснабжения [1].

## **1. Проектирование раздела РЗА и вторичных соединений**

Состав [2] электротехнической рабочей документации (ЭРД) в проектах: предприятий, зданий и сооружений.

### **1.1. В состав ЭРД входят:**

- рабочие чертежи, объединенные в комплекты по видам работ (далее именуемые основной комплект рабочих чертежей);
- прилагаемый комплект рабочих чертежей;
- ссылочные материалы.

### **1.2. В основной комплект рабочих чертежей входят:**

- общие данные;
- основные чертежи (на основе плана, генплана, общие принципиальные схемы, сводные таблицы и т. п.) для согласований с заинтересованными организациями;
- сводная сметная документация (по укрупненным показателям, аналогам); по рабочим чертежам определяют фактические физические объемы работ для определения стоимости локальной и далее объектной сметы;
- инженерно-технические изыскания сооружения ГЩУ (главный щит управления) и сооружения кабельных каналов и конструкций;
- сводная информация по НИР (инновации в части вторичных соединений).

### **1.3. В прилагаемые документы входят:**

- повторно применяемые рабочие документы (чертежи, схемы, таблицы);
- рабочая документация на электромонтажные изделия и конструкции, подлежащие поставке и изготовлению (рабочая документация задания заводам – изготовителями на изготовления щитовых устройств) рабочая документация для монтажных работ подрядными организациями; рабочая документация для наладочных работ и т.д.
- чертежи НКУ индивидуального не типового изготовления и техническое задание заводу- изготовителю;
- локальная, объектовая, сводная сметы;
- ведомость потребности в материалах;
- спецификация оборудования, устройств и установок;
- опросные листы на электрооборудование (при необходимости);
- ведомость объемов монтажных и строительных работ. В случаях, когда локальная смета составлена по единым районным расценкам на строительные конструкции и работы и расценкам на монтаж оборудования, ведомость объемов монтажных и строительных работ не выполняется (согласно ГОСТ 21.111, п. 7);
- другие документы, направляемые заказчику в соответствии с договором (контрактом).

**1.4.** Основной комплект стадии «рабочая документация» входят рабочие чертежи и прилагаемые документы без текстовых документов имеют название "рабочие документация или чертежи", стадия с пояснительной запиской и комментариями и обоснованиями - "проектная документация".

**1.5.** Ниже приведены в табличной форме состав электротехнической части рабочей документации (ЭРД) с делением на основной комплект чертежей и предлагаемых.

Чертежи и текстовые документы (например, ЭРД электрооборудования технологических механизмов и агрегатов).

**1.6.** Основным комплектам чертежей и документам, при оформлении отдельными документами, чертежам и текстовым документам, прилагаемым к основным комплектам, присваивают самостоятельные обозначения.

**1.7.** В состав обозначения основного комплекта рабочих чертежей входит базовое обозначение и через дефис марка основного комплекта.

В базовое обозначение рекомендуется включать обозначение, присвоенное в проектной организации, и через дефис номер здания (сооружения) по генеральному плану.

Примеры: *XXXX - XX - ЭТХ,*

*XXXX - XX - ЭП.*

**1.8.** При оформлении основного комплекта рабочих чертежей отдельными документами обозначение каждого документа составляют из обозначения основного комплекта рабочих чертежей с добавлением через точку порядкового номера документа.

Примеры: *XXXX - XX - ЭП.1,*

*XXXX - XX - ЭП.2.*

**1.9.** Обозначения эскизных чертежей общего вида НКУ включают обозначение основного комплекта рабочих чертежей с добавлением через точку буквенно-цифровых индексов, состоящих из заглавной буквы "Н" и порядковых номеров чертежей.

Примеры: *XXXX - XX - ЭП.Н1,*

*XXXX - XX - ЭП.Н2.*

**1.10.** Обозначение чертежей конструкции в ведомости рабочей документации задания, разработанных для проектируемого объекта, включают обозначение основного комплекта чертежей с добавлением через точку буквенно-цифровые индексы, состоящих из заглавной буквы «И» и порядковых номеров чертежей.

Пример: *XXXX - XX - ЭП1.И1.*

В обозначение сборочного чертежа конструкции рабочей документации задания дополнительно в конце обозначения за порядковым номером чертежа конструкции проставляют буквенный индекс из заглавных букв «СБ».

Пример: *XXXX - XX - ЭП1.ИЗСБ.*

**1.11.** Обозначения ведомости электромонтажной конструкции и ведомости материалов и изделий для изготовлений электромонтажных конструкций, входящих в рабочую документацию задания, включают обозначение основного комплекта чертежей с добавлением через точку буквенно-цифровых индексов, состоящих соответственно из заглавных букв "ИВК" и "ИВН" и порядкового номера ведомости.

Примеры: *XXXX - XX - ЭП1.ИВК1,*

*XXXX - XX - ЭП1.ИВК2.*

**1.12.** Обозначения текстовых документов, входящих в прилагаемые документы к основному комплекту чертежей, включают обозначение основного комплекта чертежей с добавлением через точку буквенного индекса из заглавных букв.

Примеры буквенных индексов:

*ЛС* – для локальной сметы;

*ВМ* – для ведомости в потребности материалов;

*СО* – для спецификации оборудования;

*ЛО* – для опросного листа;

*ВР* – для ведомости объемов монтажных и строительных работ.

Примеры: *XXXX - XX – ЭП. ЛС*,

*XXXX - XX – ЭП. СО*.

При наличии в составе прилагаемых документов нескольких текстовых документов одного вида к буквенному индексу добавляется порядковый номер документа.

Примеры: *XXXX - XX - ЭП.ВН1*,

*XXXX - XX - ЭП.ВМ2.59*

Рабочим чертежам, разработанным как чертежи повторного применения, присваивают безобъектное обозначение.

На листе «Общие данные» приведены наименование документов перечень чертежей и прилагаемых материалов:

- ведомости чертежей основного комплекта;
- ведомость ссылочных прилагаемых документов;
- ведомость основных комплектов (в ведущей марке);
- общие указания;
- условные обозначения, не установленные государственными стандартами.

Состав чертежей:

- схемы принципиальные,
- схемы или таблицы подключения,
- планы расположения, электрооборудования,
- прокладки электрических сетей и сетей заземления (зануления);
- кабельный (кабельно-трубный) журнал,
- ведомость заполнения труб кабелями;

- разработанные для проектируемого объекта чертежи конструкций и деталей, изготавливаемых монтажной зоне и т. п.

Состав прилагаемых документов:

- Повторно применяемые рабочие документы: чертежи, схемы и т.п.
- Рабочая документация задания МЭЗ: (ведомость электромонтажных конструкций, ведомость материалов и изделий для изготовления электромонтажных конструкций, чертежи электромонтажных конструкций как разработанные для проектируемого объекта, так и повторно применяемые, трубозаготовительная ведомость);
- Эскизные чертежи общего вида НКУ;
- Локальные сметы;
- Ведомость потребности в материалах;
- Спецификация оборудования, устройств и установок;
- Опросные листы на электрооборудование;
- Другие документы, направляемые заказчику в соответствии с договором (контрактом).

## **2. Составление заказных спецификаций**

### **Заявочная спецификация на материалы и изделия**

Заказные спецификации составляются отдельно на изделия, поставляемые подрядчиком, заказчиком, специализирующими комплектующими организациями и фирмами (на изделия заводоизготовителей по техническим индивидуальным заданиям, опросным листам, монтажных организаций на электро-установочные изделия, кроме штепсельных соединений с плоскими контактами, прокат черных металлов, трубы всех типов, метало рукава) и на все остальные изделия, которые необходимые для монтажа.

Заказные спецификации составляются по формам СН 202-81 на все виды оборудования, арматуру, кабели, приборы и другие изделия и материалы, поставляемые через заказчика.

Заказные спецификации, ведомости и сметы составляются по определенным единым формам, приведенным в эталонных разработках для проектирования.

Заказные спецификации составляются на основании рабочих чертежей на все виды оборудования (включая нестандартное, индивидуального изготовления по специально разработанным техническим заданиям): приборы, средства контроля, автоматизации и связи и другие приборы, поставляемые для заказчика.

Спецификацию оформляют в качестве самостоятельного документа, которому присваивают обозначение, состоящее из обозначения соответствующего основного комплекта рабочих чертежей по ГОСТ 21.101 и, через точку, шифр С.

В спецификации указывают (рисунок 1):

- в графе 1 – позиционные обозначения оборудования, изделия, предусмотренные рабочими чертежами соответствующего основного комплекта;
- в графе 2 – наименование оборудования, изделия, материала, их техническую характеристику в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и другой технической документации, а также другие необходимые сведения. При записи материала указывают его условное обозначение, установленное в стандарте или другом нормативном документе;
- в графе 3 – тип, марку оборудования, изделия, обозначение стандарта, технических условий или другого документа, а также обозначение опросного листа;
- в графе 4 – код оборудования, изделия, материала по классификатору продукции;
- в графе 5 – наименование завода-изготовителя оборудования (для импортного оборудования – страну, фирму);
- в графе 6 – обозначение единицы измерения;
- в графе 7 – количество оборудования, изделий, материалов;
- в графе 8 – массу единицы оборудования, изделия в килограммах. (Допускается для тяжелого оборудования указывать массу в тоннах. Для оборудования (массой до 25 кг), не требующего при монтаже применения подъемно-транспортных средств, графу допускается не заполнять);
- в графе 9 – дополнительные сведения.



The diagram shows a blank order specification form with the following dimensions and layout:

- Overall dimensions:** 420 (width) x 297 (height).
- Top margin:** 5 (width) x 32 (height).
- Table grid:** 10 columns wide, 18 rows high.
- Column headers:**
  - Поз.
  - Наименование и техническая характеристика
  - Тип, марка, обозначение документа, опросного листа
  - Код продукции
  - Поставщик
  - Ед. измерения
  - Кол.
  - Масса 1 ед., кг
  - Примечание
- Row heights:** 8 min (for the first 8 rows), 20 (for the remaining 10 rows).
- Column widths:** 20, 130, 60, 35, 45, 20, 20, 25, 40, 5.
- Additional fields:**
  - A vertical box on the left side labeled "Дополнительные графы по ГОСТ 21.101".
  - A large box at the bottom right labeled "Основная надпись по ГОСТ 21.101".

Рисунок 1. Основной вид заказной спецификации

Заказные спецификации объединяются в сборник заказных спецификаций, утверждаются соответствующим главным управлением от заказчика (министерства или ведомства), ответственного за строительства и финансирование и направляются в соответствующие комплектующие организации для изготовления и поставки.

Заказные спецификации и протокол, подписанные сторонами, являются неотъемлемой частью договора.

Заказные спецификации на не серийное оборудование, щитовые устройства и др., индивидуально изготавливаемое комплектующим организациям не передаются, а согласовываются предварительно с заводами технические задания на изготовление и поставку продукта заказчику.

Порядок составления и оформления указанной документации устанавливается в инструкциях, регламентирующих документах по

проектированию, утверждаемых государственными ведомствами и отраслевыми министерствами в установленном порядке.

Заказные спецификации, составляемые на стадии рабочей документации (одностадийный проект), являются как проектными, так и заказными документами.

Заказная спецификация является документом, необходимым для согласований и для заказа оборудования. В каждый автономный комплект поставки включают его составляющие, самостоятельно функционирующие элементы приборы, регуляторы, исполнительные механизмы и т.д. Комплекту присваивают цифровой номер и буквенные обозначения для составляющих.

Заказные спецификации составляют на стадии рабочей документации на следующее оборудование, комплекты и монтажные материалы:

- приборы и средства автоматизации;
- средства вычислительной техники;
- электроаппаратуру;
- щиты и пульты;
- трубопроводную арматуру;
- кабели и провода;
- основные монтажные материалы и изделия (трубы, металлы, монтажные изделия);
- не серийное, индивидуальное оборудование.

Заказные спецификации на оборудование, изделия и материалы поставки через заказчика разрабатываются по согласованной форме.

К поставке через заказчика (или участием) относится практически все основное оборудование и дорогостоящие приборы, кабели, большая часть трубопроводной арматуры, легированные трубы и металлы.

Заказные спецификации на щитовые устройства и пультаы составляют в двух разделах: в первом разделе дается спецификация собственно на щиты, панели и пультаы. Во втором на комплектующие: на приборы, средства автоматизации, электроаппаратуру, арматуру и основные монтажные изделия, поставляемые комплектно со щитами, панелями и пультами.

Заказная спецификация на приборы и средства автоматизации составляется на основании функциональных и принципиальных схем.

При этом приборы и средства автоматизации рекомендуется перечислять группировать в следующие параметрические группы: температура; давление и разрежение; расход; количество и уровень; состав и качество вещества; прочие приборы, регуляторы и комплектные устройства. Заказная спецификация на основные монтажные материалы и изделия составляется в сводном виде следующими разделами: трубы, черные металлы, цветные металлы, монтажные изделия.

В заказную спецификацию включаются: материалы, металл, необходимые для изготовления (подрядчиком) металлоконструкций, по которым осуществляются прокладка электрических и трубных проводок и установка щитов, панелей и пультов; монтажные изделия, поставляемые промышленностью.

Заказные спецификации на автономно действующие устройства, установки и средства автоматизации содержат перечни его составляющих: измерительных преобразователей, приборов, регуляторов, функциональных блоков и устройств, поступающих комплектно с ними.

По каждому прибору или устройству в спецификации имеются сведения об переменных параметрах, например, измеряемой среде и ее уставки в нормальном режиме, о месте установки и др. Указанные заказные спецификации объединяются в сборник заказных спецификаций по согласованным и утвержденным формам.

Заказная спецификация на электроаппаратуру составляется по форме, которая состоит из двух разделов:

- а) электроаппаратура, устанавливаемая на щитах, панелях и пультах;
- б) электроаппаратура, устанавливаемая вне щитов, панелей и пультов.

Заказные спецификации разрабатываются на приборы и средства автоматизации, средства вычислительной техники, силовую электроаппаратуру, щитов, панелей и пультов, станций управления и нетипового оборудования.

Заказная спецификация щитов и пультов в комплекте с чертежами общих видов входит в состав документации, передаваемой заводу изготовителю щитовой продукции.

Заказную спецификацию на основные монтажные материалы и изделия составляют в сводном виде следующими разделами: трубы, черные металлы, цветные металлы, монтажные изделия.

Эти заказные спецификации представляются комплектующим организациям в установленные сроки.

Оформление заказных спецификаций в составе рабочих чертежей регламентировано рядом документов, и здесь можно отметить только некоторые принципиальные моменты:

Спецификация должна охватывать все оборудование и материалы, кроме мелких вспомогательных материалов и метизов.

Количества должны соответствовать проектным чертежам и включать установленный запас. При составлении спецификаций наиболее трудоемкой операцией является обмер сети по плану (рекомендуется выполнять его мерным шнурком с узелками через 10 см; работа с курвиметром значительно медленнее), но эта операция неизбежна и определять потребность в кабельных изделиях по укрупненным

показателям или данным проектов-аналогов можно только на первой стадии, проектной документации.

Изменение, утвержденных заказных спецификаций и комплектовочных ведомостей на оборудование, приборы, кабельные и другие изделия, может производиться проектными организациями и дирекциями строящихся, реконструируемых предприятий с согласования проектными организациями.

В исключительных случаях, и только с разрешения соответствующих главных управлений министерств и ведомств, представителей заказчика, которые одновременно должны принять решение об использовании оказавшегося излишним оборудования и о возмещении убытков в связи с изменениями, внесенными в проекты и техническую документацию.

В заказную спецификацию, составленную по установленной форме, включают всю электроаппаратуру, перечисленную в спецификации чертежей. При этом дают краткую техническую характеристику, переменные параметры, тип аппаратуры и наименование завода-изготовителя или фирмы-поставщика.

В заказную спецификацию кабелей и проводов включают все кабели и линии связи, (учтенные проектной документацией), прокладываемые вне щитов и пультов.

Провода и кабели включают в спецификацию следующими разделами:

- силовые кабели, контрольные кабели, экранированные провода и кабели, кабели и провода связи;
- установочные провода, компенсационные провода.

Кабели и провода включают в спецификацию в соответствии с указанными разделами в порядке возрастания числа жил и сечения.

В заказную спецификацию трубопроводной арматуры в сводном виде включают следующие виды трубопроводной арматуры:

- регулирующие органы, поставляемые арматурными заводами: запорную арматуру с электрическим, пневматическим и гидравлическим приводами;
- запорную арматуру с ручным приводом.

В заказную спецификацию не серийное оборудования, изготавливаемые индивидуально, включают оборудование и изделия, необходимые для реализации данного проекта автоматизации, не поставляемые промышленностью.

В заказных спецификациях технические характеристики, количество и масса оборудования должны соответствовать данным спецификации на чертежах технологической части проекта.

В эти заказные спецификации помещают также приборы и средства автоматизации, поставляемые комплектно с технологическим оборудованием. Однако против этих позиций указывают, что они поставляются комплектно с тем или иным оборудованием.

При составлении заказной спецификации необходимо заказывать штативы, которые поставляются с несъемным оборудованием. Съемные платы, которые должны быть установлены на этих штативах, поставляются изготовителем отдельно, поэтому они вносятся в спецификацию оборудования отдельными позициями.

На основе заказных спецификаций и расчетов потребности, предоставленных заказчиком, определяют сводную потребность в оборудовании.

Несвоевременное предоставление заказных спецификаций и другой технической документации, предоставление ее в неполном объеме, задержка согласования технических условий заказчик соответственно

отдаляет сроки поставки. Один экземпляр заказных спецификаций, полученных от генеральных проектных организаций и оформленных протоколом, передается заказчикам-застройщикам, дирекциям строительства.

При составлении заказных спецификаций на средства контроля, автоматизации и связи в графе 3 указывается также наименование среды и предельные значения переменных параметров.

Размеры граф заказной спецификации должны строго соответствовать утвержденной форме со следующими размерами граф: *1 графа – 10 мм, 2, 6, 7, 9 - 19 графы – 14 мм, 3 графа – 83 мм, 4 графа – 20 мм, 5 графа – 35 мм, 8 графа – 45 мм, левое поле формы для подшивки – 20 мм.*

Спецификацию оборудования, изделий и материалов (далее – спецификация) составляют по форме 1 (*ГОСТ 21.110-95*) ко всем основным комплектам рабочих чертежей (кроме основных комплектов рабочих чертежей строительных конструкций).

Первым листом спецификации является титульный лист, выполняемый по форме *ГОСТ 21.110-95* (рисунок 2).

5

23





- в графе 7 - порядковый номер листа (страницы текстового документа при двусторонней печати). На документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют;
- в графе 8 - общее число листов документа. Графу заполняют только на первом листе. На первом листе текстового документа при двусторонней печати указывают общее число страниц;
- в графе 9 - наименование или различительный индекс организации, разработавшей документ;
- в графе 10 - характер работы (разработал, проверил, нормоконтроль, утвердил); допускается свободные строки заполнять по усмотрению разработчика должностями лиц, ответственных за выпуск документа (гл. инженер проекта, начальник отдела, гл. специалист и т.п.);
- в графах 11-13 - фамилии и подписи лиц, указанных в графе 10, и дату подписания. Если необходимо согласование документа, то подписи должностных лиц, согласовывающих документ, размещают на поле для подшивки листа.

В таблице изменений указывают:

- в графе 14 «Изм.» - порядковый номер изменения документа;
- в графе 15 «Кол.уч.» - количество изменяемых участков изображения на данном листе в пределах очередного изменения;
- в графе 16 «Лист» - на листах, выпущенных вместо замененных, – «Зам.», на листах, добавленных вновь, – «Нов». При замене всех листов подлинника на первом листе в графе «Лист» указывают «Все». При этом таблицу изменений на других листах этого подлинника не заполняют. В остальных случаях в графе «Лист» ставят прочерк;
- в графе 17 «№ док.» - обозначение разрешения;
- в графе 18 «Подп.» - подпись лица, ответственного за правильность внесения изменения (подпись лица, ответственного за нормоконтроль, проставляют на поле для подшивки листа);
- в графе 19 «Дата» - дату внесения изменения.

Если необходимо согласование документа, то подписи должностных лиц, согласовывающих документ, размещают на поле для подшивки листа;

- графа 20 - инвентарный номер подлинника;
- графа 21 - подпись лица, принявшего подлинник на хранение, и дату приемки (число, месяц, год);
- графа 22 - инвентарный номер подлинника документа, взамен которого выпущен подлинник.

В спецификацию включают всё оборудование, изделия и материалы, предусмотренные рабочими чертежами соответствующего основного комплекта.

Спецификацию для проекта по автоматизации, как правило, составляют по следующим разделам (подразделам):

- приборы и средства автоматизации;
- агрегатные комплексы и средства вычислительной техники;
- щиты и пульты;
- электроаппаратура;
- трубопроводная арматура;
- кабели и провода;
- узлы и конструкции;
- материалы и монтажные изделия.

Спецификацию оформляют в качестве самостоятельного документа, которому присваивают обозначение, состоящее из обозначения соответствующего основного комплекта рабочих чертежей по *ГОСТ 21.101* и, через точку, шифра С.

В спецификации указывают (рисунок 4):

The drawing shows a technical specification form with the following dimensions and layout:

- Overall dimensions:** 420 (width) x 297 (height).
- Header section (top):** 5 (height), 35 (height), 10 (height), 8 min (height).
- Table structure:**
  - Column 1 (Position):** 20 (width).
  - Column 2 (Name and technical characteristics):** 130 (width).
  - Column 3 (Type, brand, document designation):** 60 (width).
  - Column 4 (Equipment code):** 35 (width).
  - Column 5 (Manufacturer):** 45 (width).
  - Column 6 (Unit of measurement):** 20 (width).
  - Column 7 (Quantity):** 20 (width).
  - Column 8 (Mass):** 25 (width).
  - Column 9 (Remarks):** 40 (width).
- Additional fields:**
  - Additional fields according to ГОСТ 21.101:** 5 (width), 5 (height).
  - Main signature area:** 420 (width), 5 (height).

Рисунок 4. Спецификация по ГОСТ 21.101

- в графе 1 - позиционные обозначения оборудования, изделия, предусмотренные рабочими чертежами соответствующего основного комплекта;
- в графе 2 - наименование оборудования, изделия, материала, их техническую характеристику в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и другой технической документации, а также другие необходимые сведения. При записи материала указывают его условное обозначение, установленное в стандарте или другом нормативном документе;
- в графе 3 - тип, марку оборудования, изделия, обозначение стандарта, технических условий или другого документа, а также обозначение опросного листа;

- в графе 4 - код оборудования, изделия, материала по классификатору продукции;
- в графе 5 - наименование завода-изготовителя оборудования (для импортного оборудования – страну, фирму);
- в графе 6 - обозначение единицы измерения;
- в графе 7 - количество оборудования, изделий, материалов;
- в графе 8 - массу единицы оборудования, изделия в килограммах.

Допускается для тяжелого оборудования указывать массу в тоннах. Для оборудования (массой до 25 кг), не требующего при монтаже применения подъемно-транспортных средств, графу допускается не заполнять;

- в графе 9 - дополнительные сведения.

### **3. Основные положения из(НТП) «Норм технологического проектирования подстанций (ПС) переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ»**

**3.1.** Нормы технологического проектирования подстанций (НТП ПС) устанавливают основные требования по проектированию подстанций и переключательных пунктов переменного тока ОАО «ФСК ЕЭС» с высшим напряжением 35-750 кВ. [3].

**3.2.** Настоящие нормы распространяются на вновь сооружаемые, расширяемые, а также подлежащие техническому перевооружению и реконструкции (ТПВ и РК) подстанции (ПС) и переключательные пункты (ПП) напряжением 35-750 кВ.

При проектировании расширения, ТПВ и РК ПС с учетом существующих схем РУ, компоновок оборудования, конструкций зданий и вспомогательных сооружений допускаются обоснованные отступления от настоящих норм, согласованные на стадии формирования задания на проектирование с электросетевыми компаниями. Указанное не распространяется на требования, связанные с техникой безопасности, пожарной безопасностью и экологией, отступление от которых согласовывается в установленном порядке.

При проектировании ПС и ПП следует руководствоваться правилами устройств электроустановок (ПУЭ), настоящими «Нормами», регламентирующими и ведомственными нормативными документами.

**3.3.** При проектировании подстанций должно быть обеспечено:

- Надежное и качественное электроснабжение потребителей.
- Внедрение передовых проектных решений, обеспечивающих соответствие всего комплекса показателей подстанций современному мировому техническому уровню.

- Высокий уровень технологических процессов и качества строительных и монтажных работ.
- Экономическая эффективность, обусловленная оптимальным объемом привлекаемых инвестиций и ресурсов, используемой земли и снижением эксплуатационных затрат.
- Соблюдение требований экологической безопасности и охраны окружающей среды.
- Ремонтопригодность применяемого оборудования и конструкций.
- Передовые методы эксплуатации, безопасные и удобные условия труда эксплуатационного персонала.

**3.4.** Проектная [5] документация на новое строительство, техническое перевооружение и реконструкцию подстанций разрабатывается с учетом утвержденных обоснований инвестиций, на основании утвержденного в установленном порядке задания на проектирование. В случае, когда в качестве альтернативы техперевооружению действующей подстанции имеется вариант новой подстанции, разработке проектной документации должно предшествовать выполнение технико-экономического обоснования (ТЭО).

**3.5.** Проектирование ПС должно выполняться на основании утвержденных схем:

- развития энергосистемы;
- развития электрических сетей района, города;
- внешнего электроснабжения объекта;
- ремонта, технического и оперативного обслуживания энергосистемы;
- развития средств управления общесистемного назначения, включающих релейную защиту и автоматику (РЗА), противоаварийную автоматику, а также схемы развития АСДУ ОЭС, АИИС КУЭ;

- организации плавки гололеда на ВЛ в прилегающем к ПС районе.

**3.6.** Из схем развития энергосистемы и сетей района или города, а также схем внешнего электроснабжения объекта принимаются следующие исходные данные:

- район размещения ПС;
- нагрузки на расчетный период и их рост на перспективу с указанием распределения их по напряжениям и категориям;
- число, мощность и номинальные напряжения трансформаторов;
- соотношения номинальных мощностей обмоток трехобмоточных трансформаторов;
- уровни и пределы регулирования напряжения на шинах ПС и необходимость дополнительных регулирующих устройств с учетом требований к качеству электроэнергии;
- число присоединяемых линий напряжением 110 кВ и выше и их нагрузки (число линий 6, 10, 35 кВ и их нагрузки — по данным заказчика);
- рекомендации по схемам электрических соединений ПС;
- режимы заземления нейтрали трансформаторов;
- места установки, число и мощность шунтирующих реакторов, конденсаторных батарей, управляемых средств реактивной мощности и других средств ограничения перенапряжения в сетях 110 кВ и выше;
- места установки, число и мощность дугогасящих реакторов для компенсации емкостных токов в сетях 35 кВ и ниже (по данным заказчика);
- требования по обеспечению устойчивости электропередачи (энергосистемы);
- требования к средствам управления общесистемного назначения;
- расчетные значения токов однофазного и трехфазного КЗ с учетом развития сетей и генерирующих источников на срок до 10 лет, считая от предполагаемого срока ввода ПС в эксплуатацию, а также мероприятия по ограничению токов КЗ.



**3.7.** При разработке вопросов организации ремонта, технического и оперативного обслуживания электросетевых компаний учитываются следующие исходные данные:

- форма и структура ремонтно-эксплуатационного обслуживания и оперативно-диспетчерского управления ПС;
- технические средства для ремонтно-эксплуатационного обслуживания и оперативно-диспетчерского управления ПС.

**3.8.** Из схем организации плавки гололеда на ВЛ в прилегающем к ПС районе принимаются следующие исходные данные:

- необходимость и способ плавки гололеда на проводах и тросах ВЛ, отходящих от ПС;
- количество устанавливаемых на ВЛ дистанционных сигнализаторов гололедообразования.

**3.9.** Из схем управления общесистемного назначения принимаются следующие данные:

- объемы проектирования устройств релейной защиты и вторичных цепей самой ПС (при новом строительстве, расширении, ТПВ и РК) и ПС прилегающей сети;
- объемы проектирования средств ПА, АРЧМ, АРН прилегающей сети;
- данные о необходимости установки дополнительных коммутационных аппаратов, измерительных трансформаторов.

**3.10.** При отсутствии каких-либо данных, перечисленных в п.п. 5-9, или при наличии устаревших данных соответствующие вопросы следует разработать при выполнении обоснований инвестиций или уточнить в составе проекта (рабочего проекта) ПС в виде самостоятельных разделов.

**3.11.** Проект (рабочий проект) ПС должен выполняться на расчетный период (5 лет после ввода в эксплуатацию) с учетом перспективы ее развития на последующие не менее 5 лет.

**3.12.** При проектировании новой (реконструируемой) ПС следует рассматривать вопросы схемы прилегающей электрической сети и ее отдельных элементов в соответствии с:

- требованиями и рекомендациями «Правил устройства электроустановок» [1], "Проектирование систем электроснабжения и электротехнических устройств"[6], рекомендаций по проектированию энергосистем [22], а также других отраслевых норм и инструкций по вопросам развития электрических сетей и систем электроснабжения;
- выполненной и утвержденной схемой развития электрических сетей энергосистемы или ее отдельных элементов, а также проектной документацией на строительство отдельных электросетевых объектов, если их осуществление сохраняет свое значение и целесообразность в условиях изменений, произошедших после утверждения схемы сети (проекта объекта) или ввода в работу первой очереди объекта;
- обеспечением законодательства в области охраны окружающей среды и сбережения энергоресурсов.

**3.12.1.** При решении вопросов присоединения проектируемой (реконструируемой, расширяемой) ПС к сети энергосистемы изучается:

- экономическая эффективность принимаемых решений;
- важность рассматриваемого объекта электрической сети для энергосистемы. При этом следует учитывать влияние рассматриваемого объекта на условия работы других электрических объектов, а также электрической сети в смежных энергосистемах и обеспечение транзитных потоков мощности и электроэнергии;
- финансовых возможностей, обеспечивающих проведение работ по реконструкции и техническому перевооружению.

**3.12.2.** При проектировании новой или реконструируемой ПС основной сети (как правило, электрическая сеть напряжением 330 кВ и выше) должна обеспечиваться:

- пропускная способность сети в отдельных сечениях межсистемных связей с учетом транзитных перетоков мощности (в соответствии с требуемыми значениями);
- система резервирования внешнего электроснабжения отдельного энергетического узла без ограничения максимальной нагрузки;
- выдача мощности электростанций к узловым ПС энергосистемы.

**3.12.3.** В распределительной сети энергосистемы строительство новой ПС или техническое перевооружение существующей сети должно быть направлено на обеспечение:

- необходимой надежности при построении схем электрической сети, обеспечивающиеся требования ПУЭ, и отраслевых норм;
- требований нормативных документов и инструкций, касающихся внешнего электроснабжения отдельных потребителей (групп потребителей);
- оптимизации работы электрической сети путем обеспечения условий регулирования напряжения (установка трансформаторов с РПН и др.), при которых достигается надлежащее качество напряжения у потребителей в соответствии с требованиями «Методических рекомендаций по проектированию развития энергосистем» в нормальных и расчетных послеаварийных режимах работы электрической сети;
- исключения перегруженности участков электрической сети с целью снижения потерь электроэнергии (ликвидация «очагов» не обоснованных потерь);
- мероприятий ограничения токов КЗ.

**3.13.** Объем технического перевооружения и реконструкции подстанции определяется комплексной комиссией на основании документов, подготовленных по результатам полного обследования и оценки технического состояния подстанции и утвержденных в установленном порядке, в соответствии с "Руководящие указания об определении понятий

и отнесения видов работ и мероприятий в электросетях отрасли "Электроэнергетика" к новому строительству, расширению, реконструкции и техническому перевооружению" [5].

**3.13.1.** При проектировании технического перевооружения и реконструкции подстанций должны быть устранены дефекты, неисправности и повреждения из опыта эксплуатации схем, оборудования, конструкций, устройств, зданий, сооружений, а также соответственно изменены все технические решения, которые не соответствуют перспективным и действующим нормативам или являлись причиной отказов при эксплуатации подстанций.

Допускается оставлять без изменений конструкции и технические решения, принятые на существующей подстанции, если, несмотря на их несоответствие нормам, действующим на момент технического перевооружения, они удовлетворяют требованиям ПТЭ, правил техники безопасности при производстве соответствующих работ, и в процессе эксплуатации не было случаев отказов по причинам этих несоответствий.

**3.13.2.** Работоспособность оборудования и конструкций, оставляемых для дальнейшей эксплуатации, в необходимых случаях, должна подтверждаться проведением соответствующих испытаний с учетом его состояния.

- Оборудование с истекшим сроком службы, как правило, должно заменяться новым с учетом перспективы развития.

**3.13.3.** Применяемые на ПС силовое оборудование, устройства РЗА, ПА, АСУТП и связи, АИИС КУЭ, АСДТУ, систем диагностики, а также программно-технические комплексы и программное обеспечение систем АСТУ должны быть аттестованы в установленном в ОАО «ФСК ЕЭС» порядке [4].

#### 4. Некоторые особенности в обозначении и маркировке элементов в принципиальных и монтажных схемах.

- В принципиальных и монтажных схемах оборудование устройства обозначают условными обозначениями (таблица 1), например, выключатель обозначается *QF*, электромагнитный пускатель *KM*, реле - *KL*. [6;7;8].
- В спецификациях на оборудование, устройства и на другие элементы приводятся обозначения по техническим условиям завода-изготовителя и приведенного в паспорте изделия.

Таблица 1. Обозначение элементов в пояснительной записке и в схемах

| Обозначение | Наименование элемента                           |
|-------------|---|
| AC          | Устройство АВР                                  |
| AKS         | Устройство АПВ                                  |
| AR          | Устройство комплексное (реле УРОВ)              |
| C           | Конденсатор                                     |
| CG          | Батарея конденсаторов                           |
| FU          | Предохранитель                                  |
| KM          | Контактор, пускатель                            |
| L           | Реактор, дроссель, дугогасительная катушка      |
| M           | Двигатель                                       |
| Q           | Рубильник, выключатель силовых цепей            |
| QS          | Разъединитель                                   |
| S           | Рубильник, выключатель вспомогательных цепей    |
| SF          | Автоматический выключатель                      |
| T           | Трансформатор                                   |
| TA          | Трансформатор тока                              |
| TAN         | Трансформатор тока нулевой последовательности   |
| TUV         | Трансформатор регулировочный                    |
| TV          | Трансформатор напряжения                        |
| A           | Устройство (пульт, щит, усилитель и т.д.)       |
| AV          | Устройство регулирования напряжения             |
| AK          | Устройство (комплект) реле токовых защит        |
| AKБ         | Устройство блокировки                           |
| AKV         | Устройство комплектное продольной дифзащиты ЛЭП |
| AKZ         | Устройство комплектное реле сопротивления       |
| SAB         | Переключатель, ключ в цепях блокировки          |

|     |   |
|-----|---|
| SB  | Кнопка                                    |
| SG  | Блок испытательный                        |
| SQ  | Путевой, конечный выключатель             |
| SX  | Накладка оперативная                      |
| TAV | Трансреактор                              |
| TL  | Трансформатор промежуточный               |
| UGS | Блок питания и заряда                     |
| UV  | Фазорегулятор, преобразователь напряжения |
| VUM | Фазорегулятор моторный                    |
| V   | Прибор электронный                        |
| VC  | Выпрямитель                               |
| VD  | Диод, стабилитрон                         |
| VL  | Вакуумный прибор                          |
| VS  | Тиристор                                  |
| VT  | Транзистор                                |
| X   | Устройство соединительное                 |
| XA  | Испытательный блок                        |
| XG  | Испытательный зажим                       |
| XN  | Соединение неразборное                    |
| XP  | Соединение контактное, штырь              |
| XS  | Соединение контактное, гнездо             |
| XT  | Соединение разборное                      |
| XW  | Соединение ВЧ                             |
| YAC | Электромагнит включение                   |
| YAT | Электромагнит отключения                  |
| Z   | Фильтр                                    |
| KN  | Реле указательное                         |
| KNA | Реле импульсное сигнализации              |
| KL  | Реле промежуточное                        |
| KQC | Реле положения «Включено»                 |
| KQT | Реле положения «Отключено»                |
| KSG | Газовое реле                              |
| KSV | Реле контроля цепей напряжения            |
| KT  | Реле времени                              |
| KV  | Реле напряжения                           |
| KW  | Реле мощности                             |
| KZ  | Реле сопротивления                        |
| PA  | Амперметр                                 |

|     |  |
|-----|--|
| PC  | Счетчик импульсов  |
| PF  | Частотомер   |
| PNE | Указатель положения                                      |
| EB  | Шина блокировки  |
| +EC | Шинка управления «+»                                     |
| ECS | Шинка синхронизации                                      |
| PTY | Секундомер электрический (с электромагнитным приводом)   |
| PTV | Секундомер электронный                                   |
| PV  | Вольтметр  |
| PW  | Ваттметр   |
| R   | Резистор   |
| RP  | Потенциометр   |
| RR  | Реостат  |
| SA  | Переключатель, ключ вторичных цепей                      |
| B   | Преобразователь неэлектрической величины в электрическую |
| BL  | Фотоэлемент  |
| BV  | Датчик скорости  |
| EA  | Шинка вспомогательная                                    |
| +EH | Шинка сигнализации «-»                                   |
| ЕНА | Шинка сигнализации аварийной                             |
| ЕНР | Шинка сигнализации предупредительной                     |
| ES  | Шинка напряжения синхронизации                           |
| EV  | Шинка напряжения   |
| EVM | Шинка защиты минимального напряжения                     |
| EY  | Шинка питания приводов                                   |
| HL  | Прибор световой сигнализации                             |
| HLA | Табло световое   |
| HLG | Лампа с линзой зеленой                                   |
| HLR | Лампа с линзой красной                                   |
| HLW | Лампа с линзой белой                                     |
| FV  | Разрядник  |
| K   | Реле   |
| KA  | Реле тока  |
| KAT | Реле тока с насыщающимся трансформатором                 |
| KAW | Реле тока с торможением                                  |
| KAZ | Реле тока фильтровое                                     |
| KB  | Реле блокировки  |

Например, электромагнитный пускатель (*КМ* - обозначение принципиальных и монтажных схемах) присвоенное заводом и приведено в паспорте: ПМЕ  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$ ,  $x_5$ ,  $x_6$ , и это полное обозначение необходимо приводить в спецификациях и заказной проектной документации, направляемых на изготовление устройств или заказа комплектующих для замены при ремонте.

Где:  $x_1$  – код величины пускателя по номинальному току (0 на 4А, 1–10А, 2–25А);

$x_2$  - код исполнения по степени защиты (IP- 00...65 первая цифра указывает на защищенность от брызг воды, вторая - от пыли) и сочетанию контактов вспомогательных цепей (количество нормально закрытых и нормально открытых контактов);

$x_3$  - код исполнения по назначению, наличию устройств защиты и встроенных элементов управления (наличие теплового реле защиты от перегрузки и кнопок управления);

$x_4$  – исполнение, модернизация, то «М»;

$x_5$  – климатическое исполнение: У, ХЛ, Т (Т-тропическое исполнение);

$x_6$  – категория размещения (2,3,4).

3. Пример: автоматический выключатель (*QF*), заводское обозначение: *В А 51-31-х 400 100 xxxxBА51* – серия выключателя;

« - » - разделительный знак - это код защиты электрических сетей; «Г» если вместо знака, то это выключатель для защиты электродвигателя;

31 - код величины номинального тока, например, 31 обозначает ток 100 А;

« - » – разделительный знак; х – число полюсов выключателя 1...3;

4 - цифра указывает на наличие теплового реле защиты от перегрузки и электромагнитного расцепителя от КЗ, например, 4 означает, что



упомянутые имеются; 00—код на отсутствие дополнительных расцепителей и свободных контактов;

1 - код на наличие ручного привода и его исполнения; 0—дополнительные механизмы отсутствуют, 0—без регулировки тока теплового расцепителя; « - » разделительный знак;

xx - степень защиты по ГОСТ 14254-80 IP-00...56; xx - климатическое исполнение УЗ, УХЛ, Т.

- Обозначение или номера контактов, зажимов на оборудовании или на устройствах, нанесенных заводом-изготовителем на проектные монтажные чертежи переносятся без изменений.

Например: *Л 1...Л6, С1...С6, Х1...Х68* и т.д.

- *Пример заводской информации*, которая используется специалистами проектных организаций для разработки проектной документации, приведен на листе №10 «привод ППрК-2000 элегазового выключателя марки ВЭБ 110».
- *На принципиальных схемах* приводятся марки жил электрических цепей [6;7;8]. Например, цепи управления 101 и т.д.; цепи отключения от защит 133 (233); цепи сигнализации 190 (900); цепи тока 411 (422); цепи напряжения 660.
- *Обозначения кабелей на монтажных чертежах* рядов зажимов и планах раскладки кабелей, а также после монтажа на бирках по концам кабеля принято показывать индивидуальный номер в виде дроби в числителе условное обозначение монтажной единицы, например, для трансформатора *IT*, для выключателя ввода *IV*, секционного выключателя *СК*, трансформатора напряжения *ЩИ*, отходящей линии *ЦЛ* и т.д., в знаменателе присвоенный трехзначный порядковый номер кабеля.

Например: *1Т/142* - кабель с номером 142, относится к первому трансформатору.

- *На монтажных чертежах* приборы или устройства обозначают дробью, в числителе условный код прибора и его порядковый номер, в знаменателе - условное обозначение устройства.

Например: *KL* реле, обозначенное - *02 04/KL*, означает реле на чертеже - 02, порядковый номер 04.

- *На чертежах рядов зажимов* и принципиальных схемах принята встречная маркировка [6].

На зажиме, например, 02, реле *0204/KL4* отрезком линии, указывается адрес присоединения с зажимом 04 другого, например, тоже реле *02 05/KL5*, то есть маркировка адрес (куда) 020501, а на зажиме 01 реле *0205/KL5* приводится с записью встречной маркировки адрес (откуда) *020402*.

- *После выбора оборудования и размещения* его в ОРУ и ЗРУ, а также в ГЩУ (архитектурно-строительные чертежи и строительные чертежи разрабатываются после расстановки или компоновки помещений электротехническим оборудованием, и детализация разработки этой документации в настоящем изложении условно опускается, равно как и раздел ЛЭП) специалисты РЗА и учета разрабатывают монтажные чертежи. При этом они имеют типовые проекты и проектные решения и последней разработки заводских чертежей, поставляемого оборудования. При выборе оборудования и щитовых устройств приоритет отдается отечественному или СП на территории РФ. Это позволяет оперативно обращаться за гарантийным и не гарантийным техническим обслуживанием, а также снизить затраты. Специалисты производят рекогносцировку принципиальных технологических схем на размещенное оборудование ПС в монтажном варианте. В случае индивидуальной

разработки щитовых устройств выполняют чертеж фасада, на котором размещены все приборы устройства, монтажный чертеж, панельные принципиальные схемы и чертежи рядов зажимов правой и левой боковины.

- После готовности чертежей рядов зажимов определяется количество жил контрольных кабелей (формирование контрольных кабелей по типу и марки) и выполняют чертеж плана раскладки кабелей по территории и помещениям ПС. По чертежу плана раскладки кабелей определяется объем кабельных конструкций (лотков, коробов), а также мероприятий по защите от сторонних электромагнитных полей.

- После «обвязки» цепей вторичной коммутации разрабатывают узел «кабельное хозяйство» ПС. Кабельное хозяйство состоит из таблиц кабельного журнала, который включает порядковый номер место расположения концов кабеля (начало - конец), заводскую марку кабеля, обозначение кабеля на монтажных схемах и планах, длину кабеля, количество жил, в том числе резервных.

- В заказную спецификацию кабеля суммируются по маркам с 6% резервом. По заказной спецификации кабельная продукция приобретает для монтажа.

## **5. Расчетная и пояснительная записка проектной документации**

По проекту оформляется пояснительная записка проектной документации, в последний этап, по завершению разработки графической части, при этом информация для записки поступает, по мере завершения этапов работ (расчет, чертеж и др.).

### **5.1 Основные требования к средствам РЗА системы электроснабжения**

- Селективность. Выбор и отключение только поврежденного элемента системы электроснабжения. В случае отказа спустя время селективности - работа резервной ступени защиты;
- Быстродействие. Чем быстрее отключается повреждение, тем меньше его последствия на работу системы;
- Чувствительность. Способность отличить повреждение (КЗ) от любого тяжелого нагрузочного режима;
- Надежность. Устройства РЗА должны надежно срабатывать при требовании к действию (КЗ) и надежно не срабатывать при отсутствии такого требования (нагрузочные режимы). Надежность – это обобщенный показатель, который включает в себя аппаратную надежность (качество производства элементов, самих устройств РЗА включая их монтаж и наладку), а также надежность алгоритмов и расчетов функционирования.

Перечисленным требованием отвечают РЗА на базе электронных, микропроцессорных и цифровых устройствах [9].

## 5.2. Структурные схемы МП РЗ.

РЗА [21] начинает действовать и срабатывать в зависимости отклонения параметров от номинальных защищаемого оборудования в ее элементах и отклонения номинальных параметров режима работы сетей и систем. Информацию о параметрах передаются от измерительных трансформаторов тока ( $TT$ ) или ( $TA$ ) и напряжения ( $TH$ ) или ( $TV$ ).

С выводов трансформаторов тока и трансформаторов напряжения снимаются, как с датчиков, параметры переходного процесса в электрической системе. Параметры состоят из: 1. свободные апериодические, 2. периодические, колебательные, 3. принужденные, гармонические - составляющие. Далее эти параметры переходного процесса выделяются как сигналы на выходе низкочастотного фильтра (НЧФ). Эти сигналы преобразуются в аналого-цифровом преобразователе (АЦП), и поступают с периодичностью в амплитудной частотной характеристикой (АЧХ) в цифровой фильтр. В результате сигнал переходного процесса становится цифровой импульсной информацией. В быстродействующих МПРЗА не рекурсивных фильтрах входных сигналов время установления сигнала может быть в следующих соотношении:  $T_{\pi}/2 < T_y < T_{\pi}$  и  $T_y < T_{\pi}/2$

где:  $T_{\pi}$  – это длительность периода промышленной частоту;

$T_y$  – длительность сигнала.

Выделение входного сигнала на ортогональные составляющие не рекурсивных фильтрах Фурье выглядит как суммирование произведений [25]:

$$U_s(nT) = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N u(nT) \sin \omega_{\pi} nT;$$
$$U_c(nT) = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^N u(nT) \cos \omega_{\pi} nT,$$

Где  $N$  - число интервалов дискретизации мгновенных значений напряжения за период  $T_{\pi}$ ;

$nT$  длительность дискретных значений напряжений ортогональных составляющих  $U_s(nT); U_c(nT)$ ;

$n$  - количество мгновенных дискретных значений.

Измерительное преобразование на основе  $U_s(nT); U_c(nT)$  входных сигналов информации для МПРЗА, а также основой программного разложения на симметричные составляющие прямой, обратной и нулевой последовательности токов и напряжений переходного процесса.

При поступившей информации превышающей определенных уставок логические элементы выдают импульс разрешения отключить защищаемый объект исполнительным блоком РЗА действующий на привод выключателя ( $Q$ ).

Устройство МПРЗА [25] состоит из: измерительной части ( $ИЧ$ ), контролирующей значения токов и напряжений и определяющей условие срабатывания или несрабатывания; логической части ( $ЛЧ$ ), которая формирует логический сигнал в зависимости от действия  $ИЧ$  и других требований; управляющей(исполнительной) части ( $УЧ$ ), предназначенной для усиления и размножения логического сигнала, полученного от  $ЛЧ$  и подачи напряжения на отключение объекта и сигнал о работе РЗ; источника питания ( $ИП$ ) для подачи оперативного питания на все элементы РЗ. Функциональная схема РЗ показана на рисунке 5.

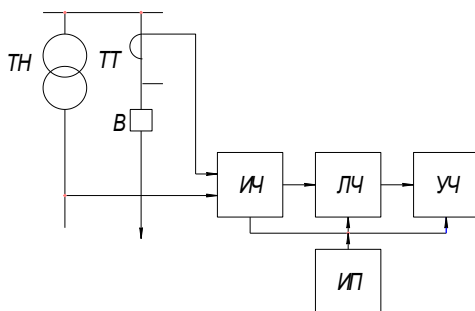


Рис.5. Функциональная схема РЗА

### **5.3. Элементная база МПРЗА**

Микропроцессорные устройства РЗА (*МП РЗА*), а также цифровые РЗА. Применяются операционные и логические микросхемы, микроконтроллеры, микрочипы и собираются в функциональные терминалы.

Блок-схема [25] элементной базы например может состоять: ТА(TV) – трансформаторов тока или напряжения, с помощью которых преобразуются первичные величины во вторичные, «безопасные» для дальнейшего использования; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь, позволяющий конвертировать аналоговые величины токов и напряжений в цифровые (двоичные или шестнадцатеричные) значения пригодные для обработки программой микропроцессора; микропроцессор - сложная интегральная микросхема, позволяющая принимать, записывать и выполнять действия над сигналами микросхема, имеющая записанную микропрограмму; ЦАП – цифрово-аналоговый преобразователь; И.О. - исполнительный орган – обычно дискретный выход, состояние которого меняется при выполнении каких либо сценариев.

#### **Структурная схема микропроцессорной (МП) РЗА**

На рисунке 6 представлена структурная схема МП РЗА [25]

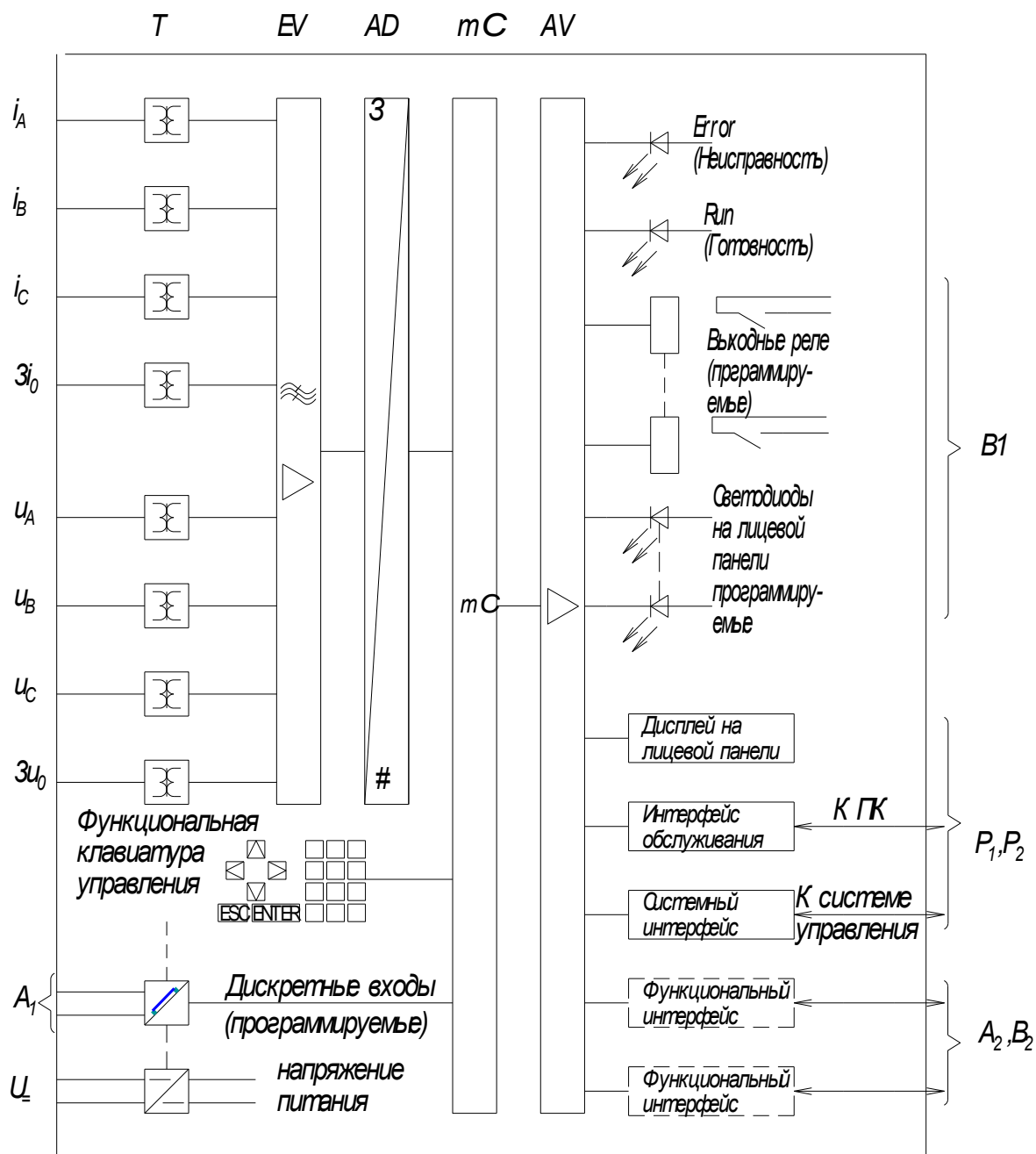


Рис. 6. Структурная схема микропроцессорной, цифровой РЗА

Аналоговые входные величины переменного тока в общем случае ( $i_A$ ,  $i_B$ ,  $i_C$ ,  $3i_0$ ,  $u_A$ ,  $u_B$ ,  $u_C$ ,  $3u_0$ ) представляют собой фазные величины и величины нулевой последовательности токов и напряжений. Эти величины подаются через промежуточные трансформаторы токов и напряжений ( $T$ ), показанные на рисунке 6. Аналоговые входные блоки должны обеспечивать достаточную изоляционную прочность измерительных цепей относительно вторичных цепей высоковольтных трансформаторов тока и напряжения



Следующие блоки: *EV*– преобразователи, обеспечивающие аналоговую фильтрацию и нормирование входных сигналов; *AD* – аналого-цифровые преобразователи для подготовки цифровых величин.

Основным элементом устройства является микропроцессорный блок (*МС*). Он предназначен для:

- фильтрации и первичной обработки измеряемых величин;
- непрерывного контроля достоверности измеряемых величин;
- проверки граничных условий;
- обработки сигналов логических функций;
- формирования команд на отключение/включение и на сигналы;
- регистрации текущих и аварийных событий, регистрации мгновенных данных повреждения;
- обеспечения функционирования операционной системы, например, хранения данных, часы реального времени, коммутации, интерфейсы и т.д.

Дискретные входные величины (*A1*):

сигналы о состоянии элементов системы электроснабжения (выключатели и т.п.);

- сигналы от других устройств РЗА;
- сигналы о разрешении или запрете отдельных функций защиты;
- сигналы управления, меняющие логику защиты.

Они предназначены для ввода логической (0 / 1) информации.

Блок *AV* - выходные усилители, обеспечивающие работу выходных реле, сигнальных элементов (светодиодов), дисплея на лицевой панели и различных интерфейсов, о которых будет сказано ниже.

Дискретные выходы (выходные реле В1 и светодиоды) служат для целей управления и сигнализации, указанных на рис. 6.

Дисплей предназначен для чтения сообщений защиты и для выполнения операций с помощью клавиатуры.

Интерфейс обслуживания служит для связи защиты с персональным компьютером, при помощи которого с использованием специальных программ обеспечивается эффективное обслуживание защиты. Этот интерфейс позволяет также производить централизованную настройку и обслуживание устройства на расстоянии (через модем).

Системный интерфейс обеспечивает связь защиты с системой контроля и управления для передачи различных сообщений о состоянии защиты, об управлении и архивировании данных. Через этот интерфейс могут также передаваться сигналы, позволяющие изменять параметры защиты.

Функциональный интерфейс обеспечивает быстрый обмен информацией с другими защитами, а также для передачи информации в систему диспетчерского управления.

Функциональная клавиатура управления на передней панели предназначена для ввода управляющей информации:

- изменение уставок и параметров защиты;
- ввод (вывод из действия) отдельных функций защиты;
- ввод команд для управления коммутационными элементами присоединения;
- программирование дискретных входов и выходов;
- проведение контрольных проверок исправности устройства.

#### 5.4. Преимущества и виды МП РЗА:

1. Улучшение качества работы РЗА (селективность, чувствительность, быстрдействие и надежность);
2. Удобство обслуживания и сокращение времени обслуживания, учитывая автоматизацию проверки;
3. Регистрация событий и величин;
4. Определение места повреждения;
5. Возможность передачи информации и управления с использованием РЗА для системы диспетчерского управления;
6. Самоконтроль устройства цифровой РЗА;
7. Возможность совершенствования РЗА; не меняя базу устройства.

##### Виды МП РЗА:

1. Токовые защиты:
  - Максимальная токовая защиты (МТЗ);
  - МТЗ с зависимой выдержкой времени;
  - МТЗ с пуском (блокировкой) по напряжению;
  - Токовая отсечка (ТО);
  - Направленные токовые защиты;
  - Токовые защиты нулевой последовательности ненаправленные и направленные;
  - Продольная дифференциальная защита трансформатора;
  - Поперечная дифференциальная защита линий электропередач и обмоток электрических машин;
  - Защита от неполнофазных режимов;
  - Делительная защита;
  - Дуговая защита;

- Дистанционные защиты линий электропередач и обмоток электрических машин;
- Высокочастотная дифференциально-фазная защита линий электропередач.

Противоаварийная автоматика:

- автоматическое повторное включение (АПВ);
- автоматическое повторное включение с улавливанием синхронизма (АПВУС);
- автоматическое включение резерва (АВР);
- автоматическое включение резерва по линии электропередачи с контролем синхронизма (Самосинхронизации ПСХ);
- автоматическое включение возбуждения электродвигателя (самосинхронизации);
- автоматическая частотная разгрузка (АЧР);
- автоматическое регулирование напряжения (регулирование коэффициента трансформации трансформаторов АРПН);
- автоматическое управление конденсаторными батареями;
- автоматическое управление выключателями по системе телемеханики.

*Комплексы [25] ПМ РЗА* выпускаются различных систем заводами-изготовителями: ОРИОН, ЭКРА, ABB, SIEMENS и др. Выпускаются в основном по типовым схемам терминалами серий ШЭ26..; БЭ27..; "SEPAМ"; "Сириус"; и др. в различных опциях, а также многофункциональные комплекты защит: SPAD 346 С –дифференциальная защита; SPAC801.02 -токовая защита и др. комплекты.

В замкнутых распределительных сетях делительные защиты предназначены: для автоматического деления сети при возникновении асинхронного режима частей энергосистемы А и Б или опасной перегрузки линий сети низшего напряжения при аварийном отключении шунтирующей

линии высшего напряжения; для автоматического деления сети при КЗ на элементах высшего напряжения; для автоматического деления питающих источников с целью уменьшения тока КЗ, отключаемого недостаточно мощным выключателем (выбор мест установки и направлений действия этих защит осуществляют службы и группы энергетических режимов); для автоматического деления сети с целью обеспечения селективной работы защит. Все эти защиты являются ограниченно-селективными; их иногда называют «защитой слабой связи».

РЗА это комплекс электронных, микропроцессорных и цифровых устройств, предназначенный для использования в электротехническом оборудовании, с целью его коммутации, управления, автоматизации, а также сигнализации и блокировки. Комплекс оснащен и состоит из датчиков, логических блоков, измерительным органом, компараторами, повторителями, дифференциального усилителя и исполнительного органа, преобразователя импульсов электронных и электромагнитных систем.

### **5.5. Функции ПМ РЗА:**

- Сигнализация, отклонения параметров от нормальных установленных режимов работы электротехнического оборудования. Например, тока, напряжения, частоты, направления тока, параметров электромагнитного поля, влажности, параметров диэлектрических потерь, температуры и др. Сигнализация динамики отклонения параметров во времени и в пространстве.

Коммутация:

- Оперативным управлением персоналом, от вторых ступеней блоков сигнализации, от средств автоматизации и телемеханики, от блоков защит при возникновении факта отказа оборудования;
- Блокировка электротехнического оборудования от коммутации.

## **6. Расчетные нормированные виды отказов, повреждений и ненормальных режимов работы.**

В процессе работы подстанции могут возникнуть расчетные отказы, повреждения отдельных её элементов и ненормальные режимы работы.

Повреждения в электроустановках чаще всего связаны с нарушением изоляции, обрывом цепей или возникновением коротких замыканий. При этом прекращается питание потребителей, расположенных за местом повреждения. Кроме того, протекание токов короткого замыкания приводит к повышенному нагреву токоведущих частей и аппаратов, снижению напряжения у удалённых потребителей и может явиться причиной нарушения устойчивой работы системы электроснабжения.

Ненормальные режимы работы обычно приводят к отклонению величин напряжения, тока и частоты от допустимых значений. При понижении напряжения и частоты создаётся опасность нарушения нормальной работы потребителей и устойчивости системы электроснабжения, а повышение напряжения может привести к пробое изоляции и повреждению электрооборудования [22;23].

Таким образом, расчетные повреждения нарушают работу электроустановок, а расчетные ненормальные режимы работы создают условия для возникновения отказов и повреждений.

Для уменьшения объемов, масштабов повреждений и предотвращения развития аварий устанавливают серийные устройства релейной защиты и противоаварийной автоматики, которые представляет собой совокупность автоматических устройств, обеспечивающих отключение поврежденной части электроустановки.

В процессе эксплуатации не исключена возможность короткие замыкания (К.З.), как в трансформаторах, так и на их соединениях с выключателями. Имеют место также опасные ненормальные режимы

работы, связанные с повреждением трансформатора и его соединений. Возможность повреждений и ненормальных режимов обуславливает необходимость установки на трансформаторах защитных устройств. При этом учитываются однофазные и многофазные короткие замыкания в обмотках и на выводах трансформатора, а также “пожар стали” сердечника. Однофазные короткие замыкания бывают двух видов: на землю и между витками обмотки (витковые замыкания). Наиболее вероятными являются однофазные и многофазные повреждения на выводах трансформаторов и однофазные витковые замыкания.

Значительно реже возникают междофазные короткие замыкания в обмотках. Для групп однофазных трансформаторов они вообще исключены. Защита от коротких замыканий выполняется с действием на отключение повреждённого трансформатора. Для ограничения размеров разрушений целесообразно выполнять её работающей без замедления.

Замыкания одной фазы на землю представляют опасность для обмоток, присоединённых к сетям с большими токами замыкания на землю. В этом случае защита должна отключить трансформатор и при однофазных коротких замыканиях в его обмотках на землю.

Ненормальные режимы работы трансформаторов обусловлены внешними короткими замыканиями и перегрузками. В этих случаях в обмотках трансформатора появляются большие токи (сверхтоки). Особенно опасны токи, при внешних коротких замыканиях; эти токи могут значительно превышать номинальный ток трансформатора. В случае длительного прохождения тока возможен интенсивный нагрев изоляции обмоток и её повреждение.

Вместе с этим при коротком замыкании имеет место понижение напряжения в сети. Поэтому на трансформаторе должна предусматриваться защита, отключающая трансформатор при появлении сверхтоков, обусловленных не отключившимся внешним коротким замыканием. К

ненормальным режимам работы трансформатора относится также недопустимое понижение уровня масла, которое может произойти, например, вследствие повреждения бака.

### **6.1. Коммутация комплексами РЗА по перечисленным отказам и нарушениям режимов серийными устройствами релейной защиты и противоаварийной автоматики в системах электроснабжения.**

#### **а) на электрической подстанциях.**

Для трансформаторов предусматриваются следующие защиты:

- Дифференциальная токовая защита трансформатора;
- Газовая защита, газовая защита устройства РПН;
- Токовая направленная защита обратной последовательности от несимметричных КЗ и максимальная токовая защита с пуском напряжения от трёхфазного КЗ;
- Двухступенчатая дистанционная защита от многофазных КЗ;
- Максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения от многофазных КЗ на стороне низшего напряжения;
- Токовая направленная защита нулевой последовательности от замыканий на землю на стороне высшего;
- Защита от неполнофазного режима;
- Максимальная токовая защита от перегрузки.

УРОВ 110 кВ предусматривается действующим при:

- КЗ в трансформаторе с отказом выключателя – на отключение всех выключателей системы (секций) шин, элемент которой повреждён;
- КЗ на шинах с отказом выключателя трансформатора – на отключение всех выключателей трансформатора.



- КЗ в трансформаторе с отказом его выключателя при действии УРОВ запрещается АПВ шин соответствующего напряжения.

- Газовая защита

Цепи защиты выполняются в соответствии с учётом наличия:

- Одного газового реле (РГЧЗ-66), реагирующего на повреждения в кожухе трансформатора, с двумя контактами, действующими соответственно на отключение и на сигнал;

- Одного газового реле, реагирующего на повреждения в контакторном объёме трансформатора, которых используется контакт, действующий на отключение.

- Одного газового реле, реагирующего на повреждения в контактном объёме РПН трансформатора.

В схемах предусматриваем возможность перевода действия отключающих контактов газовых реле трансформатора на сигнал.

- Токовая защита обратной последовательности и максимальные токовые защиты с пуском напряжения.

Токовую защиту обратной последовательности предусматриваем для резервирования отключения несимметричных внешних КЗ на сторонах высшего и среднего напряжений, а также для резервирования основных защит трансформаторов (дифференциальных и газовых).

Защита устанавливается на стороне 110 кВ и выше, питается от трансформаторов тока, встроенных во втулки высшего напряжения трансформатора; защиту выполняем направленной с использованием фильтра-реле тока и направления мощности обратной последовательности типа РМОП-2М и аналогичные.

Защиту предусматривают направленной в сторону 110 кВ в предположении, что выдержка времени резервных защит линий высшего

напряжения меньше выдержек времени резервных защит линий среднего напряжения.

Направленная защита действует с первой выдержкой времени (большей выдержек времени резервных защит линий 110 кВ) на отключение между секционного выключателя 110 кВ, со второй – на отключение выключателя 10 кВ трансформатора и с третьей – на выходные промежуточные реле защит трансформатора, отключающие последний со всех сторон.

Для резервирования основных защит стороны 10 кВ трансформатора предусмотрена максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения, присоединённая к трансформаторам тока, встроенным в трансформатор со стороны низшего напряжения.

Рассматриваемая защита является также защитой шин низшего напряжения и резервирует отключения КЗ на элементах, присоединённым к этим шинам. В этом случае защита действует с первой выдержкой времени на отключение выключателя НН и на пуск его устройства АПВ, а со второй на выходные промежуточные реле защит трансформатора.

Аппаратуру указанных защит в цепях ответвлений к секциям шин НН размещаем на панели общего подстанционного пункта управления. В этом случае исключается падение цепей оперативного постоянного тока защиты трансформатора в шкафы КРУ и тем самым повреждение этих цепей, а также связанная с этим возможная потеря постоянного тока в целом при повреждениях в шкафах КРУ 10 кВ [14].

*- Дистанционная защита от многофазных замыканий*

Защиту предусматриваем в предположении необходимости её использования в общем случае:

- для обеспечения согласования защит линий высокого напряжения с защитами трансформатора;

- для обеспечения дальнего резервирования в сетях высшего напряжения.

Одновременно защита может использоваться для частичного резервирования основных защит трансформатора [15].

Дистанционную защиту выполняем с использованием панели типа ПЭ2105, (в настоящее время сохранились в эксплуатации) содержащие комплекты реле сопротивления типов КРС-2 (первая ступень) и КРС-3 (вторая ступень), устройство блокировки при качаниях типов КРБ-125 (панель ПЭ2105Б), устройство блокировки при неисправности цепей напряжения типа КРБ-12.

Неселективные действия дистанционной защиты исключаются при согласовании с ней вторых ступеней дистанционных защит линий.

В целях упрощения ступень дистанционной защиты для резервирования сети 110 кВ и выше не устанавливается и предполагается наличие на них полноценного ближнего резервирования.

*-Токовая защита нулевой последовательности от внешних замыканий на землю*

Для резервирования отключения внешних КЗ на землю предусматриваем две токовые защиты нулевой последовательности:

- защита от замыканий на землю на стороне 110 кВ и выше, питаемая от трансформаторов тока, встроенных во втулки ввода трансформатора;
- защита от замыканий на землю на стороне 10 кВ, питаемая от трансформаторов тока.

Обе защиты предусматриваются трёхступенчатыми направленного действия. Три ступени предусмотрены для обеспечения согласования с ними смежных четырёхступенчатых защит линий. Защиты выполняются с

использованием блочных устройств типа комплектов, в которых электронные выходные промежуточные реле.

Промежуточное реле комплекта, например, КЗ-15 является выходным реле резервных защит данной стороны (от многофазных КЗ и КЗ на землю) и действует на отключение между секционного выключателя на шинах 110 кВ и выше и пуск реле на стороне 10кВ. Реле времени с первой выдержкой времени действует на отключение выключателя защищаемой стороны трансформатора, а со второй – на выходные промежуточные реле защиты трансформатора.

*- Максимальная токовая защита от перегрузки*

Защиту выполняем с использованием тока одной фазы, действующей на сигнал с выдержкой времени.

МТЗ устанавливаем со сторон высшего и низшего напряжений и со стороны выводов обмотки трансформатора к нейтрали. Реле тока со стороны выводов обмотки к нейтрали необходимо для сигнализации перегрузки общей обмотки трансформатора с действием на соответствующий выключатель.

В выходных цепях каждой из защит предусматриваем указательные реле для сигнализации действия этих защит. Для всех защит, выполненных с двумя выдержками времени, предусматриваем действие на выходные промежуточные реле защиты трансформатора с большей выдержкой времени через общее указательное реле.

*- Дифференциальная токовая защита*

Дифференциальная токовая защита (ДЗТ) является основной быстродействующей защитой трансформаторов с обмоткой высокого напряжения 3 кВ и выше от к.з. на выводах, а также внутренних повреждений. В соответствии с правилами устройств электроустановок (ПУЭ) ДТЗ отключает без выдержки времени. ДЗТ предусматривается на

трансформаторах мощностью 6,3 МВА и выше, а также на трансформаторах 4 МВА при их параллельной работе и на трансформаторах меньшей мощности (но не менее 1 МВА), если токовая отсечка не удовлетворяет требованиям чувствительности, а МТЗ имеет выдержку времени более 0,5 с.

Пример выбора дифференциальной защиты трансформатора 110/10 кВ мощностью  $S_H = 25 \text{ МВА}$  :

Для защиты силовых трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой применяется реле серии ДЗТ-10 с насыщающимися трансформаторами тока (НТТ) и магнитным торможением сквозным током дифференциальной защиты.

Выполнение схемы и расчеты уставок дифференциальной защиты трансформаторов имеют ряд особенностей:

- необходимость отстройки от бросков намагничивающего тока, возникающих при выключении ненагруженного трансформатора под напряжение (на ХХ) или при восстановлении напряжения внешнего короткого замыкания (к.з.) в питающей сети;
- необходимость отстройки от токов небаланса, обусловленных неполным выравниванием действия неодинаковых вторичных токов в плечах дифференциальной защиты, что вызывается:
  - а) невозможностью точной установки на коммутаторе реле расчетных чисел витков уравнительных обмоток, этим вызывается появление составляющей тока небаланса  $I_{н.б.}'''$ .
  - б) регулировкой коэффициента трансформации защищаемого трансформатора с РПН: этим вызывается изменение вторичных токов только в одном из плеч дифференциальной защиты, что приводит к появлению составляющей тока небаланса  $I_{н.б.}''$ .

$$f = \frac{W_{расч} - W_{уст}}{W_{расч}}$$

#### *- Устройство автоматического включения резерва*

Устройства автоматического включения резерва (АВР) нашли широкое применение на подстанциях на напряжение 6-10 кВ. Устройство АВР должно подключать резервный источник питания при исчезновении по любой причине питания от рабочего источника.

Исчезновение напряжения на шинах может быть вызвано короткими замыканиями в питающей сети высшего напряжения, в рабочем трансформаторе, на его шинах низшего напряжения и присоединенной к шинам распределительной сети, а также произвольным отключением одного выключателя рабочего трансформатора.

Включение резервного источника должно происходить после деионизации среды в случае неустойчивого короткого замыкания на сборных шинах, поэтому требуется, чтобы  $t_{ABP} > t_{д.с.}$ .

Это условие в сетях до 10 кВ выполняется автоматически, так как собственное время включения выбранных выключателей превышает время деионизации среды.

Устройство АВР должно контролировать наличие напряжения на резервном источнике, отключенное состояние рабочего источника и быть отстроеным по времени от максимальных токовых защит присоединений.

При включении резервного источника на устойчивое КЗ релейная защита должна обеспечить его отключение от поврежденного участка, чтобы сохранилось питание других присоединений.

#### *- Автоматическое повторное включение*

Эффективным мероприятием, позволяющим повысить надёжность питания потребителей, является автоматическое повторное включение (АПВ) элементов электроснабжения, которые были до этого отключены релейной защитой.

Практика эксплуатации энергосистем показала, что значительное число коротких замыканий в воздушных и кабельных электрических сетях имеет неустойчивый характер.

При снятии напряжения с повреждённой цепи электрическая прочность изоляции в месте повреждения быстро восстанавливается, и цепь может быть вновь включена в работу.

Устройство АПВ работает в едином комплексе с релейной защитой. При возникновении КЗ на линии срабатывает релейная защита этой линии и отключает соответствующий выключатель.

Через некоторый промежуток времени  $t_{АПВ}$  устройство вновь включает линию.

Если короткое замыкание само ликвидировалось, то включение линии будет успешным, и она останется в работе. Если же короткое замыкание оказалось устойчивым, то после включения выключателя линия вновь отключается релейной защитой и остаётся в отключенном состоянии до устранения повреждения ремонтным персоналом.

Действие устройств АПВ и АВР необходимо согласовать следующим образом. При коротком замыкании на одной из линий повреждённая линия отключается релейной защитой.

Устройства автоматики должны попытаться восстановить электроснабжение потребителей от своего источника питания путём АПВ. В случае успешного АПВ электроснабжение потребителей восстанавливается и АВР не требуется. Если же АПВ неуспешно, то должно сработать устройство АВР и подключить потребители к

резервному источнику питания. Следовательно, выдержка времени у АПВ должна быть меньше, чем у АВР. Примем  $t_{АПВ} = 1 \text{ с}$ .

#### *- Автоматическая частотная разгрузка*

Согласно *ГОСТ – 13109 – 87* отклонение частоты в нормальном режиме не должно превышать  $\pm 0,1 \text{ Гц}$ . Допускается кратковременное отклонение частоты не более чем на  $\pm 0,2 \text{ Гц}$ .

При дефиците активной мощности в энергосистеме может наступить чрезмерное снижение частоты тока, что угрожает нарушению статической устойчивости системы. Дефицит мощности может привести к лавинообразному снижению не только частоты, но и напряжения.

В таких случаях для восстановления нормального режима работы автоматически отключают часть наименее ответственных потребителей с помощью устройств автоматической частотной разгрузки (АЧР). АЧР должна быть выполнена таким образом, чтобы не допустить даже кратковременного снижения частоты ниже 45 Гц. Работа энергосистемы с частотой менее 47 Гц допускается в течение 20 с, а с частотой 48,5 Гц – 60 с.

АЧР предусматривает отключение потребителей небольшими долями по мере снижения частоты (АЧРІ) или по мере увеличения продолжительности существования пониженной частоты (АЧРІІ). Наиболее эффективной является АЧРІ.

В настоящее время выпускается аналогово–цифровое измерительное реле частоты типа РСГ – 11, которое срабатывает при снижении частоты и применяется в схемах АЧР.

При повышении частоты до нормального значения в целях сокращения перерыва в электроснабжении потребителей, отключенных



АЧР, применяют для них автоматическое повторное включение (частотное АПВ – ЧАПВ).

Действие АЧР должно быть согласовано с работой устройств АПВ и АВР.

**б) на электрической станции [9]:**

Принцип выбора средств релейной защиты для турбогенераторов определяется из следующих видов повреждений и нарушений.

Многофазные замыкания в обмотке статора генератора и на его выводах;

- Однофазные замыкания на землю в обмотке статора;
- Двойные замыкания на землю, одно из которых возникло в обмотке статора, а второе – во внешней сети;
- Замыкания между нитками одной фазы в обмотке статора (или наличие выведенных параллельных ветвей обмотки);
- Внешние КЗ;
- Перегрузка токами обратной последовательности (для генераторов мощностью не более 30 мВт);
- Симметричные перегрузки обмотки статора;
- Перегрузка обмотки ротора током возбуждения (для генераторов с непосредственным охлаждением проводников обмоток);
- Замыкание на землю во второй точке цепи возбуждения;
- Асинхронный режим с потерей возбуждения;

Для защиты от расчетных отказов предусматриваются комплекты основных и резервных защит.

- Комплект основных защит включает:

- На случай между фазных КЗ в обмотке статора предусмотрен комплект продольной дифференциальной токовой защиты, действующей без выдержки времени на отключение и остановку, а также на УРОВ.
- От замыканий на землю в обмотке статора предусматривается защита напряжения первой и третьей гармоники без зоны чувствительности, действует без выдержки времени на отключение и остановку, а также действует на УРОВ;
- От замыканий предусматривается поперечная дифференциальная токовая защита, которая выполняется с помощью одного реле тока, присоединенного к трансформатору тока, установленное в соединении между нейтралями параллельных ветвей. Защита действует без выдержки времени на отключение и остановку. Эта защита от КЗ между витками одной фазы обмотки статора.

Комплект резервных защит:

- От внешних симметричных КЗ в обмотке статора предусматривается одноступенчатая дистанционная защита с независимой выдержкой времени, имеет две ступени выдержки времени, первая обеспечивает дальнейшее резервирование отключения выключателя, вторая – ближнее резервирование и действует на остановку генератора.
- От внешних, не симметричных коротких замыканий, и не симметричных перегрузок. В этих отказах для обмоток статора предусматривается токовая защита обратной последовательности с интегрально-зависимой выдержкой времени, при этом интегральный орган действует без выдержки времени на отключение выключателя, а с дополнительной выдержкой времени действует на остановку генератора.

- От симметричных перегрузок в обмотке статора предусматривается МТЗ с независимой выдержкой времени.
- От перегрузки тока возбуждения в роторе – токовая защита с двумя степенями интегрально-зависимой выдержки времени. Релейная защита предназначена для действия при перегрузках и аварийных режимах, а также при неисправности в системе возбуждения генератора, вызывающих длительное протекание по обмотке ротора тока не допустимой величины, защита действует на отключения ТСН и гашения поля и возбuditеля.
- От асинхронного режима при потере возбуждения – одноступенчатая дистанционная защита с независимой выдержки времени, действует на сигнал.
- От повышения напряжения на выводах – максимальная защита напряжения, независимой выдержкой времени. Защита предназначена для предотвращения недопустимого повышения напряжения в режиме холостого хода или сброса нагрузки.

Принцип выбора релейной защиты (авто) трансформаторов определяется по следующим повреждениям и нарушениям:

- Многофазные замыкания в обмотках и выводах;
- Однофазные замыкания на землю в обмотках и выводах, присоединенных к сети с глухим заземлением нейтрали;
- Витковые замыкания в обмотках;
- От токов в обмотках, обусловленных внешними КЗ;
- От токов в обмотках, обусловленных перегрузкой;
- От понижения уровня масла;
- От частичных пробоев изоляции в выводах 500 кВ;
- От однофазных замыканий на землю в сетях 6-10 кВ с изолированной нейтралью.

Для защиты (авто) трансформатора предусматривают два комплекта защит - основной и резервный.

- Основной комплект включает:

- От всех видов КЗ в обмотке и на выводах, включая витковые замыкания в обмотках, предусматривается продольная дифференциальная токовая защита с циркулирующими токами, действует без выдержки времени на отключение;
- От замыканий внутри бака (авто) трансформатора, сопровождающихся выделением газа – газовая защита, с двумя степенями действия, без выдержки времени на отключение и включение пожаротушения.

Резервный комплект включает:

- От внешних коротких замыканий на землю в сети с заземленной нейтралью – токовая защита нулевой последовательности, с независимой выдержкой времени, имеются два комплекта;

Первая ступень первого комплекта с ускорением действует на отключение. Вторая ступень первого комплекса – на отключение секционного выключателя. Второй комплект состоит также из двух ступеней. Первая ступень действует на отключение выключателя среднего напряжения, вторая ступень – на отключение выключателя высокого напряжения;

- От внешних коротких междуфазных КЗ. Имеется двухступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ). Первой ступенью отключается выключатель среднего (низкого) напряжения, второй ступенью отключается выключатель высокого напряжения;
- От перегрузки (авто) трансформатора. МТЗ с действием на сигнал;
- От превышения температуры (термосигнализация);

На выводах ответственных (авто) трансформаторов предусматривается:

- Защита под рабочим напряжением высоковольтных выводов марки КИВ;
- Защита путем регистрации интенсивности частичных разрядов в баке (авто) трансформатора под рабочим напряжением.

**в) для блока генератор-(авто) трансформатор [9].**

Принцип выбора релейной защиты блока определяется от следующих расчетных повреждений и нарушений:

- Замыкания на землю на стороне генераторного напряжения;
- Многофазные замыкания в обмотке статора генератора и на его выводах;
- Замыкания между витками одной фазы в обмотке статора;
- Многофазные замыкания в обмотках и на выводах трансформатора;
- Однофазные замыкания на землю в обмотке (авто) трансформатора и на ее выводах, присоединенных к сети с большими токами замыкания на землю;
- Замыкания между витками в обмотках (авто) трансформатора.
- Перегрузка генератора токами обратной последовательности (для блоков с генераторами мощностью более 30 МВт);
- Симметричные перегрузки обмотки статора генератора и обмоток (авто) трансформатора;
- Перегрузка обмоток ротора генератора током возбуждения (для турбогенераторов с непосредственным охлаждением проводников обмоток и для гидрогенераторов);

- Повышение напряжения на статоре генератора и (авто) трансформаторе бланка (для блоков турбогенераторами мощностью 160 мВт и более и для всех блоков с гидрогенераторами);
- Замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения;
- Замыкания на землю во второй точке возбуждения турбогенератора мощностью менее 160 МВт;
- Асинхронный режим генератора с потерей возбуждения;
- Понижение уровня масла в баке (авто) трансформатора (повреждение с газообразованием);
- Частичный пробой изоляции вводов 500 кВ (авто) трансформатора.

Содержание комплектов то же, что для защит генераторов и (авто) трансформаторов, объединенных по зонам защиты с отключением выключателя блока со сторон возможного потока токов КЗ (повреждения и нарушения) и остановки генератора (системы возбуждения).

#### **г) на линиях электропередач.**

Для защиты линий 110 кВ и выше предусматривается два комплекта защит [21;24]:

- многофазные КЗ;
- замыкания на землю.

Для защиты от многофазных КЗ на одиночных линиях предусматриваются:

- токовая отсечка без выдержки времени на отключение;
- МТЗ одна-две ступени с выдержкой времени (возможна комбинированная по напряжению от замыканий на землю);
- многоступенчатые защиты нулевой последовательности, первая ступень без выдержки времени.

Причины появления дефектов в линиях 110 кВ и выше [28] весьма разнообразны. Основные из них: механические или коррозионные повреждения, заводские дефекты, дефекты монтажа соединительных и концевых муфт, осушение и другая деградация изоляции вследствие местных перегревов кабеля и старение изоляции.

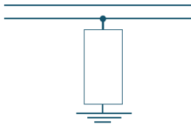
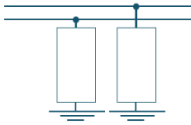
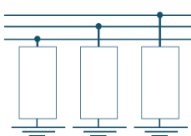
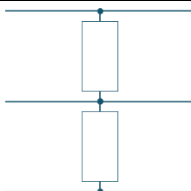
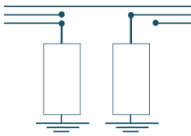
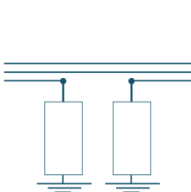
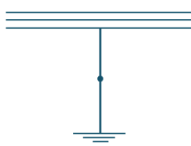
Причины повреждения на примере в кабельных линиях:

- Подвижка грунта, может быть вызвана аварией на канализационных и водопроводных сетях, весенними паводками;
- Превышение допустимых норм эксплуатации КЛ, что может привести к термической перегрузке линии;
- Протекание большого транзитного тока КЗ;
- Механическое повреждение при земляных работах;
- Ошибки при прокладке КЛ;
- Заводской брак.

Основные виды повреждений:

- Одно фазное замыкание на «землю»;
- межфазное замыкание; межфазное замыкание на «землю»;
- обрыв жил кабеля без заземления или с заземлением как оборванных, так и необорванных жил;
- заплывающий пробой, проявляющийся в виде короткого замыкания (пробоя) при высоком напряжении и исчезающий (заплывающий) при номинальном напряжении.

Таблица: Виды повреждений и основные методы поиска

| Виды повреждений                         | Схема повреждения   | Переходное сопротивление, Ом | Дистанционный метод                | Топографический метод                       | Оборудование для определения мест повреждений                           |
|--|---|------------------------------|------------------------------------|---|---|
| Замыкание фаз на оболочку кабеля         |    | $R_{п} < 50$                 | Импульсный                         | Акустический                                | РЕЙС-105М1, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А                                   |
|  |   | $100 < R_{п} < 10^4$         | Мостовой                           | Акустический, накладная рамка               | РЕЙС-305, SC40, ПКМ-105, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А                      |
|  |    | $R_{п} \leq 50$              | Импульсный                         | Акустический, индукционный, накладная рамка | РЕЙС-105М1, КП-500К   |
|  |   | $100 < R_{п} < 10^4$         | Петлевой (мостовой)                | Акустический                                | РЕЙС-305, SC40, ПКМ-105, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А                      |
|  |    | $R_{п} \leq 50$              | Импульсный                         | Акустический                                | РЕЙС-105М1, КП-500К   |
|  |   | $100 < R_{п} < 10^4$         | Мостовой                           | Акустический, индукционный                  | РЕЙС-305, SC40, ПКМ-105, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А                      |
| Замыкания между фазами                   |  | $R_{п} < 100$                | Импульсный                         | Индукционный                                | РЕЙС-105М1, КП-500К   |
| Обрыв жил с заземлением и без заземления |  | $R_{п} > 10^6$               | Импульсный, колебательного разряда | Акустический, индукционный, накладная рамка | РЕЙС-305, SC40, SDC50, SD80, АИП-70, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А, КП-500К |
|  |  | $R_{п} > 10^6$               | Импульсный, колебательного разряда | Акустический                                | РЕЙС-305, SC40, SDC50, SD80, АИП-70, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А          |
|  |   | $0 < R_{п} < 5 \times 10^3$  | Импульсный                         | Акустический, индукционный                  | РЕЙС-105М1, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А, КП-500К                          |
| Заплывающий пробой                       |  | $R_{п} > 10^6$               | Колебательного разряда             | Акустический                                | РЕЙС-305, SC40, SD80, АИП-70, ГП-24 "Акустик", ПА-1000А                 |



Дистанционные (относительные) методы:

- Импульсный метод заключается в том, что в кабельную линию посылаются электрические импульсы (зондирующие импульсы), которые, распространяясь по линии, частично отражаются от неоднородностей волнового сопротивления и возвращаются к месту, откуда были посланы. По времени прохождения импульса до неоднородности и обратно, которое пропорционально расстоянию до него вычисляют расстояние. Можно определить расстояние до места повреждения, обрыва жилы, длину кабеля, можно определять расстояния до неоднородностей, муфт, однофазных и междуфазных повреждений кабеля.

Метод основан на измерении прибором ИКЛ интервала времени  $t_x$ , мкс, между моментом подачи импульса и приходом его отражения, определяемого из равенства

$$t_x = n \cdot c$$

где  $n$  — количество масштабных отметок на экране прибора ИКЛ,  
 $c$  —цена деления масштабной отметки, равная 2 мкс.

Расстояние  $l_x$  от начала линии до места повреждения находят, приняв скорость распространения  $v$  импульса по кабелю равной 160 м/мкс, по формуле

$$l_x = \frac{t_x \cdot v}{2} = \frac{2 \cdot n \cdot v}{2} = n \cdot v$$

- Емкостный метод возможно использовать при обрывах жил кабеля. Расстояние до места обрыва определяется по значению измеренной емкости жил КЛ. Измерение проводится с помощью мостов переменного тока. Мостами переменного тока можно измерять емкость при обрывах с сопротивлением изоляции в месте повреждения не менее 300 Ом. При меньших сопротивлениях точность измерения падает ниже допустимого значения.

Емкостным методом определяют расстояния до места повреждения при обрыве жил кабеля в соединительных муфтах. При обрыве одной жилы измеряют ее емкость  $C_1$  сначала с одного конца, а затем емкость  $C_2$  этой же жилы с другого конца, после чего делят длину кабеля пропорционально полученным емкостям и определяют расстояние до места повреждения  $l_x$ , пользуясь формулой

$$l_x = \frac{L \cdot C_1}{C_1 + C_2}$$

При глухом заземлении поврежденной жилы с одного конца измеряют емкость одного участка и целой жилы, а затем определяют расстояние до места повреждения по формуле

$$l_x = \frac{L \cdot C_1}{C}$$

Если емкость  $C_1$  оборванной жилы можно замерить только с одного конца, а остальные жилы имеют глухое заземление, то расстояние до места повреждения можно определить по формуле

$$l_x = \frac{1000 \cdot C_1}{C_0}$$

где  $C_0$  — удельная емкость жилы для данного кабеля, принимаемая по таблицам характеристик кабелей.

- Метод колебательного разряда используется при определении расстояния до мест однофазных повреждений с переходным сопротивлением в месте повреждения порядка 10-100 кОм. С помощью высоковольтной испытательной установки на поврежденной жиле кабеля поднимается напряжение до пробоя. Короткое замыкание в заряженной жиле кабеля приводит к появлению электромагнитных волн, которые распространяются от места пробоя в месте дефекта к началу и к концу кабельной линии. Анализируя эпюры напряжения колебательного процесса можно вычислить расстояние до дефекта.

- Волновой метод используется, в том случае, если сопротивление в месте повреждения составляет от нуля до сотен кило Ом. Осуществляется метод следующим образом. При пробое разрядника высоковольтной выпрямительной установки в линию посылается высоковольтная электромагнитная волна от заряженного конденсатора, которая создает пробой в месте повреждения кабельной линии, что вызывает волновой колебательный процесс в цепи конденсатор-линия. При достижении электромагнитной волной, посланной от конденсатора, места повреждения произойдет пробой в случае, если сопротивление в месте повреждения не равно нулю Ом, после чего отраженный от повреждения фронт волны вернется к месту посылки — конденсатору, отразится от него и вернется к месту повреждения. Если сопротивление в месте повреждения близко к нулю, разряда не произойдет и волна отразится от короткого замыкания. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока волна не затухнет. С помощью измерений временной зависимости напряжения на зажимах кабеля вовремя колебательного процесса, можно установить время, за которое волна достигнет места пробоя, и рассчитать расстояние до него.

- Петлевой метод основан на измерении сопротивления току жил кабеля (как правило, с помощью моста). Используется при определении места повреждения защитной пластмассовой изоляции. Точность определения расстояния до места повреждения невелика и составляет около 15% измеряемой длины.

Петлевой метод применяется в случаях, когда жила с поврежденной изоляцией не имеет обрыва, одна из неповрежденных жил имеет хорошую изоляцию, а величина переходного сопротивления в месте повреждения не превышает 5 кОм. При необходимости снижения величины переходного сопротивления изоляцию дожигают кенотроном или

газотронной установкой. Питание схемы — от аккумулятора, а при больших переходных сопротивлениях — от сухой батареи БАС-60 или БАС-80. Для определения места повреждения на одном конце кабеля соединяют неповрежденную жилу с поврежденной, а на другом конце к этим жилам присоединяют измерительный мост с гальванометром, питаемых аккумулятором или батареей. Уравновешивая мост, определяют место повреждения по формуле

$$l_x = \frac{2 \cdot L \cdot R_1}{R_1 + R_2}$$

где  $L_x$  — расстояние от места измерения до места повреждения, м,  $L$  — длина кабельной линии (если линия состоит из кабелей разного сечения, длину приводят к одному сечению, эквивалентному сечению наибольшего отрезка кабеля), м,  $R_1, R_2$  — сопротивления плеч моста, Ом.

Отклонение стрелки прибора в обратном направлении при перемене концов проводов, присоединяющих прибор к жилам, свидетельствует о том, что повреждение находится в самом начале кабеля со стороны места измерения.

#### Топографические (абсолютные) методы

- Акустический метод поиска основан на прослушивании над местом повреждения звуковых колебаний, возникающих в месте повреждения в момент искрового разряда от электрических импульсов, посылаемых в кабельную линию.
- Потенциальный метод поиска основан на фиксации на поверхности грунта вдоль трассы электрических потенциалов, создаваемых протекающими по оболочке КЛ в земле токами.
- Индукционный метод поиска основан на контроле магнитного поля вокруг кабеля, которое создается протекающим по нему током от специализированного генератора. Оценивая уровень магнитного поля, определяют наличие КЛ и глубину ее залегания, а по характеру изменения и уровню поля определяют место повреждения. Этот [28]

метод применяется для непосредственного отыскания на кабеле мест повреждения при пробое изоляции жил между собой или на «землю», обрыве с одновременным пробоем изоляции между жилами или на «землю», для определения трассы кабеля и глубины его залегания, для определения местоположения соединительных муфт.

Для одиночной линии двухстороннего питания токовые защиты выполняются направленными, исключающими срабатывания защит при повреждении «за спиной». Системная автоматика предусматривается в объеме одно- двух кратного АПВ. При двустороннем питании АПВ предусматриваются с синхронизмом при включении в оставшуюся под напряжением сеть.

Для защиты ВЛ от многофазных КЗ, на которых имеются технические сложности выбора токовых уставок, из условий надежности и селективной работы РЗА, а также ответственности линий в системе - предусматривают в качестве основной защиты одно - трех ступенчатую дистанционную защиту, при этом оставляя токовые защиты в качестве резервных.

По степени ответственности линий в работе системы первую ступень выполняют с ВЧ- блокировкой, (с устройством АНКА, ПВЗУ, АРС-70 и др.) при этом условия селективности с предыдущим и последующими защитами сохраняются.

Для защиты системных линий в качестве основной предусматриваются высококачественные защиты, например, дифференциально-фазная, продольно-дифференциальные защиты, системная автоматика АПВУС выполняется с контролем (улавливанием) синхронизма.

При этом в качестве резервных защит предусматриваются дистанционные защиты. От замыканий на землю сохраняются

многоступенчатые токовые защиты нулевой последовательности, при этом первая ступень зоной срабатывания охватывает всю защищаемую линию, для чего предусмотрена ВЧ- блокировка.

Для надежности работы основной и резервной защит каждый из комплектов имеет свои трансформатор тока.

Для одиночной линии двухстороннего питания токовые защиты выполняются направленного действия, исключающего срабатывания защит при повреждении «за спиной». Системная автоматика предусматривается в объеме одно- двух кратного АПВ. При двустороннем питании АПВ предусматриваются с синхронизмом при включении в оставшуюся под напряжением сеть.

Для защиты воздушных линий (ВЛ) от многофазных КЗ, на которых имеются технические сложности выбора токовых уставок, из условий надежности и селективной работы РЗА, а также ответственности линий в системе - предусматривают в качестве основной защиты одно- трехступенчатую дистанционную защиту, при этом оставляя токовые защиты в качестве резервных.

По степени ответственности линий в работе системы первую ступень выполняют с ВЧ- блокировкой, (с устройством АНКА, АРС-70 и др.) при этом условия селективности с предыдущим и последующими защитами сохраняются.

Для защиты системных линий в качестве основной предусматриваются высококачественные защиты, например, дифференциально-фазная, продольно-дифференциальные защиты, системная автоматика АПВУС выполняется с контролем (улавливанием) синхронизма.

При этом в качестве резервных защит предусматриваются дистанционные защиты. От замыканий на землю сохраняются

многоступенчатые токовые защиты нулевой последовательности, при этом первая ступень зоной срабатывания охватывает всю защищаемую линию, для чего предусмотрена ВЧ- блокировка.

Для надежности работы основной и резервной защит каждый из комплектов имеет свои трансформатор тока.

Для параллельных линий предусматривается дополнительно комплект поперечной дифференциальной защиты.

#### **д) на линии с незаземленной нейтралью (6-35 кВ)**

Для защиты линий предусматриваются комплекты защит от междуфазных КЗ и от однофазных замыканий на землю [14;15]. Комплекты защит от междуфазных КЗ предусматриваются трехфазных - в трех релейном, двухфазных - в двух релейном и одно релейном исполнении. Первое исполнение предусматривается для повышения чувствительности при повреждении за трансформатором по схеме «звезда-треугольник». От однофазных замыканий предусматривается комплект защиты от токов и напряжений нулевой последовательности, например, токовый комплект типа РТЗ-51. Защиты подключаются к нулевому зажиму схемы «звезда» или неполная звезда трансформатора тока, а также трансформатору тока, по форме тора, трансформатору тока нулевой последовательности. В защите по напряжению используется трансформатор напряжения, обмотка открытого треугольника, к выводам которого подключается реле напряжения, например, РН-54/160-«земля в сети». Защита от замыканий на землю действует, как правило, на сигнал, но для защит электродвигателей используется на отключение.

От понижения напряжения в сети используется защита минимального напряжения, комплект защиты с использованием реле напряжения РН-54/160, который подключается ко вторичной обмотке

трансформатора напряжения. В сетях 6-35 кВ используется АПВ, как правило, одноступенчатая и АВР на включение резервного питания, которые действуют по факту отключения основного питания, причем с запретом работы при отключении от релейной защиты.

**е) для сборных шин 6 кВ и выше:**

При обосновании, релейную защиту одиночных сборных шин, применяют в составе комплекта из токовой отсечки по току и напряжению.

Для сборных шин [21;22] электростанций, при обосновании, применяют комплект двухступенчатой полной дифференциальной защиты. Первая ступень предусматривается токовой отсечкой по току и напряжению, а также с обоснованием предусматривается первой ступенью дистанционной защиты.

Для сложных сборных шин предусматривают продольно-дифференциальную токовую защиту. Этот комплект защит предусматривает контроль исправности вторичных цепей от соответствующих трансформаторов тока. При неисправности защита выводится и работает на сигнал.

В связи с тем, что обходной выключатель может выполнять функции линейного выключателя, то в нем предусматривают комплект многоступенчатой дистанционной защиты.

Все выключатели одной сборной шины задействованы в систему УРОВ, а при отсутствии УРОВ на секционном выключателе, предусмотрена защита с разделением секций шин с токовой отсечкой.



## 6.2. Принцип выбора комплектов электронных РЗА

*- На (авто) трансформаторе [25]:*

- продольно-дифференцированная защита;
- токовая (отсечка) от КЗ;
- максимальная токовая защита от междуфазных КЗ;
- максимальная токовая защита от однофазных КЗ;
- газовая защита (отключение и на сигнал);

*- Обще подстанционные средства защиты и автоматика:*

- УРОН (устройство отключения выключателей системы шин, в случае отказа одного выключателя от действия своей защиты);
- АЧР автоматика частотной разгрузки, при понижении частоты и система отключает неответственные нагрузки;
- Сигнализация возникновения «земли» в сети 6-10 кВ.

*- На КРУ 6-10 кВ:*

- дуговая защита, в том числе на отходящих линиях 6-10 кВ;
- токовая отсечка;
- максимальная токовая защита;
- сигнализация при замыкании фазы на землю;
- автоматика повторного включения (АПВ);
- РЧ- отключение не ответственных линий при понижении частоты.

*- На отходящих линиях высокого и среднего напряжения:*

- токовая отсечка и максимальная токовая направленная защита;
- дистанционные многоступенчатые защиты;
- высокочастотные защиты;
- (трех)двухступенчатые максимально токовые защиты от однофазных КЗ.

## 7. Расчет токов короткого замыкания

Расчёты уставок [21] измерительных органов РЗ выполняются с целью проверки правильности выбора объема и видов устройств РЗА и реле. Установки РЗА после монтажа устройств выставляются по результатам расчетов и фактическим токам КЗ в точках присоединения проектируемого объекта.

Для расчета выбора коммутационных аппаратов, проверка устойчивости элементов подстанции и уставок токовых средств защиты, например, расцепителя и реле «перегруза» на вводе НН трансформатора 6 - 10/0,4кВ:

Пример расчета токов короткого замыкания в сети 10/0.4кВ (радиальная блок – схема: трансформатор – шинопровод – кабельная линия с односторонним питанием)

Расчетная схема приведена ниже.

Система С:  $S_k = 150 \text{ МВА}$ ;  $U_{\text{ср.ВН}} = 10 \text{ кВ}$ .

Трансформатор типа *ТСЗС-1000/10* с параметрами:  $u_k = 8 \%$ ;  $U_{\text{ВН}} = 10 \text{ кВ}$ ;  $U_{\text{НН}} = 0,4 \text{ кВ}$ ;  $P_k = 10 \text{ кВт}$ .

Автоматические выключатели:

QF1 «Электрон»:  $I_{\text{НОМ}} = 1000 \text{ А}$ ;  $R_{\text{КВ1}} = 0,25 \text{ мОм}$ ;  $X_{\text{КВ1}} = 0,1 \text{ мОм}$ ;

QF2 - *A3794C*:  $I_{\text{НОМ}} = 400 \text{ А}$ ;  $R_{\text{КВ2}} = 0,65 \text{ мОм}$ ;  $X_{\text{КВ2}} = 0,17 \text{ мОм}$ ;

QF3 - *AE2056*:  $I_{\text{НОМ}} = 100 \text{ А}$ ;  $R_{\text{КВ3}} = 2,15 \text{ мОм}$ ;  $X_{\text{КВ3}} = 1,2 \text{ мОм}$ .

Шинопровод Ш1: *ШМА-4-1600*;  $l_1 = 30 \text{ м}$ ;  $R_{1\text{ш1}} = 0,03 \text{ мОм/м}$ ;  $X_{1\text{ш1}} = 0,014 \text{ мОм/м}$ ;  $R_{0\text{ш1}} = 0,037 \text{ мОм/м}$ ;  $X_{0\text{ш1}} = 0,042 \text{ мОм/м}$ .

Кабельные линии:

КБ1: *АВВГ-3×185 + 1×70*;  $l_2 = 60 \text{ м}$ ;  $R_1 = 0,208 \text{ мОм/м}$ ;  $X_1 = 0,063 \text{ мОм/м}$ ;  $R_0 = 0,989 \text{ мОм/м}$ ;  $X_0 = 0,244 \text{ мОм/м}$ ;

КБ2: АВВГ-3×35 + 1×16;  $l_3 = 30$  м;  $R_1 = 1,1$  мОм/м;  $X_1 = 0,068$  мОм/м;  
 $R_0 = 2,63$  мОм/м;  $X_0 = 0,647$  мОм/м.

Болтовые контактные соединения:  $r_k = 0,003$  мОм;  $n = 10$ .

Значения параметров схемы замещения прямой последовательности:

Сопротивление системы ( $X_c$ ) составляет:

$$X_c = \frac{U^2}{S} = \frac{400^2}{126 * 10^6} = 1,269 \text{ мОм}$$

Активное и индуктивное сопротивления трансформатора ( $R_T$ ) и ( $X_T$ ), рассчитанные и составляют:

$$R_T = \frac{\Delta P_k * U^2}{S^2} = \frac{10 * 0,4^2}{1000^2} * 10^6 = 1,6 \text{ мОм}$$

$$X_T = \sqrt{U_k^2 - \left(\frac{\Delta P}{S}\right)^2} * \frac{U^2}{S} =$$

$$= \sqrt{8^2 - \left(\frac{100 * 10}{1000}\right)^2} * \frac{0,4^2}{1000} * 10^6 = 12,7 \text{ мОм}$$

Активное и индуктивное сопротивления шинпровода:

$$R_{1ш1} = 0,03 * 30 = 0,9 \text{ мОм}; X_{1ш1} = 0,014 * 30 = 0,42 \text{ мОм};$$

$$R_{0ш1} = 0,037 * 30 = 1,11 \text{ мОм}; X_{0ш1} = 0,042 * 30 = 1,26 \text{ мОм};$$

Активное сопротивление болтовых контактных соединений:

$$R_k = 0,003 * 10 = 0,03 \text{ мОм};$$

Активное и индуктивное сопротивления кабельных линий:

$$\text{КБ1: } R_{1кб1} = 0,208 * 60 = 12,5 \text{ мОм}; X_{1кб1} = 0,063 * 60 = 3,78 \text{ мОм};$$

$$R_{0кб1} = 0,989 * 60 = 59,34 \text{ мОм}; X_{0кб1} = 0,244 * 60 = 14,64 \text{ мОм};$$

$$\text{КБ2: } R_{1\text{кб}2} = 1,1 \times 30 = 33 \text{ мОм}; X_{1\text{кб}2} = 0,068 \times 30 = 2,04 \text{ мОм}.$$

$$R_{0\text{кб}2} = 2,63 \times 30 = 78,9 \text{ мОм}; X_{0\text{кб}2} = 0,647 \times 30 = 19,41 \text{ мОм};$$

Суммарные сопротивления относительно точки КЗ К1:

$$\begin{aligned} R_{1\Sigma} &= R_T + R_{1ш1} + R_{1\text{кб}1} + R_{1\text{кб}2} + R_{\text{кв}1} + R_{\text{кв}2} + R_{\text{кв}3} + R_K \\ &= 1,6 + 0,9 + 12,5 + 33 + 0,25 + 0,65 + 2,15 + 0,03 = 51,08 \text{ мОм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{1\Sigma} &= X_T + X_{1ш1} + X_{1\text{кб}1} + X_{1\text{кб}2} + X_{\text{кв}1} + X_{\text{кв}2} + X_{\text{кв}3} = \\ &= 1,269 + 12,7 + 0,42 + 3,78 + 2,04 + 0,1 + 0,17 + 1,2 = 21,7 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Начальное значение периодической составляющей тока при металлическом КЗ:

$$\begin{aligned} I_{\text{по.мах}}^{(3)} &= \frac{U}{\sqrt{3} * \sqrt{R_{1\Sigma}^2 - X_{1\Sigma}^2}} = \\ &= \frac{400}{\sqrt{3} * \sqrt{51,8^2 - 21,7^2}} = 4.17 \text{ кА}. \end{aligned}$$

Начальное значение периодической составляющей тока дугового КЗ определяется с учетом сопротивления дуги.

Активное сопротивление дуги в начальный момент КЗ, определяемое и составляет:

$$\begin{aligned} R_d &= \sqrt{\frac{U_{\text{ср.нн}}^2}{3 * I_{\text{п0}}^2 * K_c^2} - X_{1\Sigma}^2 - R_{1\Sigma}} = \\ &= \sqrt{\frac{400^2}{3 * 4,17^2 * 0,81^2} - 21,7^2 - 51,08} = 16,52 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Где: коэффициент  $K_c$  в соответствии с формулой составляет:

$$K_c = 0,6 - 0,0025 * Z_K + 0,114 * \sqrt{Z_K} - 0,13 \sqrt[3]{Z_K}.$$

$$K_c = 0,6 - 0,0025 * 55,5 + 0,114 * \sqrt{55,5} - 0,13 \sqrt[3]{55,5} = 0,815.$$

$$Z_K = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 - X_{1\Sigma}^2} = \sqrt{51,8^2 - 21,7^2} = 55,5 \text{ мОм}.$$

Среднее (вероятное) начальное значение тока дугового КЗ составляет:

$$\begin{aligned} I_{\text{по.0д}}^{(3)} &= \frac{U}{\sqrt{3} * \sqrt{(R_{1\Sigma} + R_d)^2 - X_{1\Sigma}^2}} = \\ &= \frac{400}{\sqrt{3} * \sqrt{(51,08 + 16,52)^2 - 21,7^2}} = 3,25 \text{ кА}. \end{aligned}$$

Максимальный и минимальный токи  $I_{\text{по.дmax}}^{(3)}$  определяются с учетом соответствующих значений коэффициента  $K_c$ :

$$\begin{aligned} I_{\text{по.дmax}}^{(3)} &= 0,788 + 0,353 * 10^{-2} * Z_K - 0,21 * 10^{-4} * Z_K^2 + 0,45 * 10^{-7} * \\ &* Z_K^3 = 3,73 \text{ кА}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{по.дmin}}^{(3)} &= 0,458 + 0,557 * 10^{-2} * Z_K - 0,247 * 10^{-4} * Z_K^2 + 0,37 * 10^{-7} * \\ &* Z_K^3 = 2,67 \text{ кА}. \end{aligned}$$

Начальное значение периодической составляющей тока однофазного КЗ

$$\begin{aligned} I_{\text{по.0д}}^{(3)} &= \frac{\sqrt{3} * U_{\Delta\text{HH}}}{\sqrt{(2 * R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2 * X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}} = \\ &= \frac{3 * U_{\Phi}}{\sqrt{(2 * R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2 * X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}} = 3 * I_{\text{окз}}. \end{aligned}$$

Суммарные сопротивления нулевой последовательности

$$R_{0\Sigma} = R_{0T} + R_{0ш1} + R_{0кб1} + R_{0кб2} + R_{кб1} + R_{кб2} + R_{кб3} + R_K =$$

$$= 1,54 + 1,11 + 59,34 + 78,9 + 0,25 + 0,65 + 2,14 + 0,03 = 143,96 \text{ мОм};$$

$$X_{0\Sigma} = X_{0T} + X_{0ш1} + X_{0кб1} + X_{0кб2} + X_{кб1} + X_{кб2} + X_{кб3} =$$

$$= 1,269 + 59 + 1,26 + 14,64 + 19,41 + 0,1 + 0,17 + 1,2 = 97,5 \text{ мОм}.$$

$$I_{по.0д}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} * 400}{\sqrt{(2 * 51,08 + 143,96)^2 + (2 * 21,7 + 97,05)^2}} = 2.44 \text{ кА}$$

Коэффициент увеличения активного сопротивления кабеля КБ1 при металлическом КЗ без учета теплоотдачи составляет:

$$K_{б.кб1} = \frac{\tau_p + \sigma_{к.кб1}}{\tau_p + \sigma_{н.кб1}}$$

где  $\sigma_{к.кб1}$  - конечная температура при адиабатическом нагреве.

$\tau_p = 0,6$  время(сек) отключения КЗ;

$\beta$  для алюминия 228, для Меди – 234,5

$K$  – коэффициент для Алюминия равно 148; для Меди – 226

$$\sigma_{к.кб1} = (\sigma_n + \beta) * \exp \left[ \frac{I_{по}^2 * \tau}{K^2 S^2 \varepsilon^2} \right] - \beta =$$

$$= (20 + 228) \exp \left[ \frac{4,17^2 * 10^6 * 0,6}{148^2 * 185^2 * 1,016^2} \right] - 228 = 26^\circ\text{C};$$

$$\text{Где: } \varepsilon = \sqrt{1 + F * A * \sqrt{\frac{t}{S}} * F^2 * B \left( \frac{t}{S} \right)} =$$

$$= \sqrt{1 + 0,7 * 0,574 * \sqrt{\frac{0,6}{185}} * 0,7^2 * 0,165 \left( \frac{0,6}{185} \right)} = 1,016.$$

Конечная температура жил кабельной линии КБ1 с учетом теплоотдачи:

$$\sigma_{к.кб1} = \sigma_{н.кб1} + (\sigma_{к.кб1} - \sigma_{н.кб1}) * \eta = 20 + (26 - 20) * 0,968 = 25,8^{\circ}\text{C}$$

где коэффициент  $\eta$  найден по кривым.

Коэффициент  $K_{\sigma.кб1}$  увеличения активного сопротивления кабеля КБ1 с учетом теплоотдачи:

$$K_{\sigma.кб1} = \frac{\tau_p + \sigma_{к.кб1}}{\tau_p + \sigma_{н.кб1}} = \frac{236 + 25,8}{236 + 20} = 1,022$$

Соответственно для кабеля КБ2

$$\sigma_{к.кб2} = (20 + 228) * \exp \left[ \frac{4,17^2 * 10^6 * 0,6}{148^2 * 35^2 * 1,0375^2} \right] - 228 = 234,8^{\circ}\text{C}$$

Где:

$$\sigma_{к.кб2} = 20 + (234,8 - 20) * 0,92 = 217,6^{\circ}\text{C}$$

$$K_{\sigma.кб2} = 1,77$$

Поэтому значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ к моменту отключения КЗ с учетом нагрева кабелей

$$\begin{aligned} I_{\text{по.0д}}^{(3)} &= \frac{U_{\Delta\text{HH}}}{\sqrt{3} * \sqrt{(R_{кб1} * K_{\sigma.кб1} + R_{кб2} * K_{\sigma.кб2} + 5,32)^2}} = \\ &= \frac{400}{\sqrt{3} * \sqrt{12,5 * 1,022 + 33 * 1,77 + 5,32)^2}} = 3,02 \text{ кА} \end{aligned}$$

Где: 5,32 равно сумме составляющих сопротивлений:

$$1,6 + 0,9 + 0,25 + 0,65 + 2,15 + 0,03 = 5,32.$$

Сопротивление электрической дуги к моменту отключения КЗ составляет:

$$R_{дт} = \sqrt{\frac{U_{ср.НН}^2}{3 * I_{пт}^2 * K_{ст}^2} - X_{1\Sigma}^2} - R_{1\Sigma} =$$

$$= \sqrt{\frac{400^2}{3 * 3,02^2 * 0,74^2} - 21,7^2} - 51,08 = 21,2 \text{ мОм}$$

$$K_{ст} = 0,55 - 0,002 * 126,37 + 0,1 * \sqrt{126,37} - 0,12 * \sqrt[3]{126,37} = 0,82.$$

$$Z_{к} = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 - X_{1\Sigma}^2} =$$

$$= \sqrt{(12,5 * 1,022 + 33 * 1,77 + 5,32)^2 - 21,7^2} = 126,37 \text{ мОм}.$$

Среднее значение периодической составляющей тока КЗ к моменту отключения с учетом влияния нагрева и электрической дуги равно:

$$I_{пт.ср}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} * \sqrt{(12,5 * 1,01 + 33 * 1,7 + 21,2 + 5,32)^2 + 21,7^2}} = 2,37 \text{ кА}$$

$$t_{откл} = 0,6 \text{ с}.$$

Максимальное и минимальное вероятные значения тока  $I_{пт.ср}^{(3)}$  определены с учетом коэффициента  $K_{ст}$ , для  $t_{откл} = 0,6 \text{ с}$ .

$$I_{пт.мах}^{(3)} = 3,98 * 0,81 = 3,22 \text{ кА};$$

$$I_{пт.мин}^{(3)} = 3,98 * 0,65 = 2,59 \text{ кА}.$$



## 8. Примеры расчета уставок релейных защит

### 8.1 Примеры оформления расчетов установок РЗ на ПС.

Расчёты установок измерительных органов РЗ выполняются с целью проверки правильности выбора объема и видов устройств РЗА и реле. Установки РЗА после монтажа устройств выставляются по результатам расчетов и фактическим токам КЗ в точках присоединения проектируемого объекта [21].

При расчете уставок РЗА в сетях 110кВ и выше используются исходные данные по токам КЗ на шинах опорной подстанции, которые запрашивают в службах Сетевой компании:

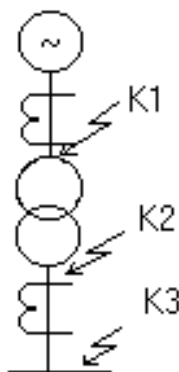


Рисунок 7. Расчетная схема дифференциальной защиты

Это принято для исключения ошибок и далее возможных аварий при выборе оборудования и уставок РЗА.

## 8.2. Расчет дифференциальной защиты трансформатора (автотрансформатора):

Исходные данные для расчета:

$$I_{к1.max/min} = 6,39кА/7,07кА$$

$$I_{к2.BH.max/min} = 1,05кА/1,03кА$$

$$I_{к2.HH.max/min} = 11,5кА/11,3кА$$

$$I_{к3.HH.} = 15,4кА$$

$$I_{к3.BH.} = 1,4кА$$

Средние значения первичных и вторичных номинальных токов для всех сторон защищаемого трансформатора.

$$I_{ном.тр.BH.} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{вн}}$$

$$I_{ном.тр.HH.} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{нн}}$$

Вторичный ток в плечах защиты:

$$I = \frac{I_{ном.тр} * K_{сх}}{n_{та}}$$

где  $K_{сх}$  - коэффициент схемы;

$n_{та}$  - коэффициент трансформации трансформатора тока.

Сведем имеющиеся данные в таблицу (таблица 2):

Таблица 2. Исходные данные

| Технические параметры                        | $U_{BH}=115 \text{ кВ}$ | $U_{HH}=10,5 \text{ кВ}$ |
|--|-------------------------|--------------------------|
| Ином.тр., А                                  | 125,5                   | 1375                     |
| $n_{та}$                                     | 300/5                   | 1500/5                   |
| Схема соединения обмоток трансформатора тока | $\Delta$                | Y                        |
| $K_{сх}$                                     | $\sqrt{3}$              | 1                        |
| Вторичный ток в плечах защиты, А             | 3,6                     | 4,6                      |

Первичный ток небаланса без учета составляющей  $I_{н.б.}'''$ , т.к. неизвестно, насколько точно удастся в ходе расчета подобрать число витков обмоток НТТ реле.

$$I_{н.б.} = I_{н.б.}' + I_{н.б.}'' + I_{н.б.}''' = (1 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,16) \cdot 1,4 \cdot 10^7 = 390 \text{ А.}$$

Предварительное, без учета  $I_{н.б.}'''$  значение тока срабатывания защиты:

$$I_{с.з.} = K_H * I_{н.б.}$$

где  $K_H$  - коэффициент надежности, для ДЗТ-11  $K_H=1,5$ .

$$I_{с.з.} = 1,5 \cdot 390 = 585 \text{ А}$$

По условию отстройки от броска токов намагничивания трансформаторов:

$$I_{с.з.} = K_H \cdot \frac{2 \cdot S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{BH}} = \frac{1,5 \cdot 2 \cdot 25 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 115} = 367 \text{ А} < 585 \text{ А}$$

Следовательно,  $I_{c.з.} = 585 \text{ A}$

Предварительная проверка чувствительности защиты при повреждениях в зоне ее действия:

При двухфазном к.з. в точке К2:

$$K_2 = \frac{I_{p.\min}}{I_{c.p.}}$$

где  $I_{p.\min}$  - ток в первичной обмотке НТТ.

$$I_{p.\min} = \frac{1,5 \cdot I_{\kappa}^{(3)}}{n_{ma}} = \frac{1,5 \cdot 1,05 \cdot 10^3}{300} = 5,25 \text{ A}$$

$$I_{c.p.} = \frac{K_{cx} \cdot I_{c.з.}}{n_{ma}} = \frac{585}{300} = 1,95 \text{ A}$$

$$K_2 = \frac{5,25}{1,95} = 2,7 > 2$$

При однофазном к.з. в точке К1:

$$I_{p.\min} = \frac{I_{\kappa}}{n_{ma}} = \frac{8,4 \cdot 10^3}{300} = 28 \text{ A}$$

$$I_{c.p.} = \frac{28}{1,95} = 14 \text{ A}$$

$$K_2 = \frac{28}{14} = 2$$

Определим число витков обмоток реле (таблица 3):

Таблица 3. Расчетные величины

| Обозначение величины  | Численное значение                                    |
|---|---|
| $I_{с.р.неосн.}^{(BH)} = I_{с.р.}$  | 1,95 А  |
| $\omega_{неосн.расч.} = \frac{F_{с.р.}}{I_{с.р.неосн.}}, F_{с.р.} = 100 А * витков$ | 51,3 витков   |
| $\omega_{неосн.}$   | 51 виток  |
| $I_{с.р.неосн.} = F_{с.р.} / \omega_{неосн.}$                                       | 100/51=1,96 А.  |
| $I_{с.з.неосн.}^{(BH)}$   | 1,96*300=588 А.                                       |
| $I_{с.з.осн.}^{(HH)}$   | 588*115/10,5=6440 А.                                  |
| $\omega_{осн.расч.} = \omega_{неосн.} * I_{2неосн.} / I_{2осн.}$                    | 51*3,6/4,6=39,9 витков                                |
| $\omega_{осн.}$   | 40 витков   |
| $I_{н.б.}''' = 8I_{k \max}$   | $\frac{39,9 - 40}{39,9} \cdot 1,4 \cdot 10^3 = 3,8 А$ |
| $I_{н.б.}$ с учетом $I_{н.б.}'''$   | 390+3,8=393,8 А.                                      |
| $I_{с.з.неосн.}$ с учетом $I_{н.б.}'''$   | 1,5*393,8=590,7А>585 А                                |
| $I_{с.р.неосн.}^{(BH)}$   | 1,97 А  |
| $\omega_{неосн.расч.} = F_{с.р.} / I_{с.р.неосн.}$                                  | 50,8 витков   |
| $\omega_{неосн.}$   | 50 витков   |
| $I_{с.р.неосн.} = F_{с.р.} / \omega_{неосн.расч.}$                                  | 100/50=2 А.   |
| $I_{с.з.неосн.}^{(BH)}$   | 600 А.  |
| $I_{с.з.осн.}^{(HH)}$   | 600*115/10,5=6571 А                                   |
| $\omega_{осн.расч.} = \omega_{неосн.} * I_{2неосн.} / I_{2осн.}$                    | 39,1 витков   |
| $\omega_{осн.}$   | 39 витков   |
| $I_{н.б.}'''$   | 3,6 А.  |
| $I_{н.б.}$  | 393,6 А   |
| $I_{с.з.неосн.}$ с учетом $I_{н.б.}'''$   | 590,4<590,7 А.  |

Окончательно примем число витков:

$$\omega_{осн.} = 39 \text{ витков}$$

$$\omega_{неосн.} = 50 \text{ витков}$$

Проверка:

$$4,6 \cdot 39 \approx 3,6 \cdot 50$$

$$179,4 \approx 180$$

Коэффициент чувствительности:

$$K_2 = \frac{I_{p.min}}{I_{c.p.}} = \frac{5,25}{2} = 2,6 > 2$$

Для повышения чувствительности продольных дифференциальных защит широко используется принцип торможения сквозным током.

Число витков тормозной обмотки:

$$\omega_m = \frac{K_n \cdot I_{н.б.} \cdot \omega_{расч.осн.}}{I_{к.max.вн.} \cdot tg\alpha}$$

где  $I_{к.max}$  - периодическая составляющая тока;

$tg\alpha$  - тангенс угла наклона тормозной характеристики, для ДЗТ-11:

$$tg\alpha = 0,75 \div 0,8$$

$$\omega_m = \frac{1,5 \cdot 393,6 \cdot 39,1}{1,4 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 20 \text{ витков}$$

Другие варианты расчетов максимальной токовой защиты, токовой отсечки и продольной дифференциальной защиты представлены в таблицах следующего параграфа.

### 8.3 Пример расчета в табличной форме защит силового трансформатора

Ниже представлены расчеты МТЗ, ТО, ДЗ силового трансформатора в табличном виде.

Таблица 4. Расчет МТЗ

| №<br>п/п | Наименование величины                                     |                      | Обозначения и<br>расчетные формулы   | Трансформатор 25000 кВА                  |  |   |
|----------|---|----------------------|--|--|--|---|
|          |   |                      |  | Сторона 115 кВ                           |  | Защита от<br>перегрузки<br>на стороне<br>6.3 кВ |
|          |   |                      |  | МТЗ                                      | Реле<br>обдувки                          |   |
| 1        | Номинальный ток трансформатора (А)                        |                      | $I_{НОМ}$  | 126                                      | 126                                      | 2300  |
| 2        | Кратность сверхтока нагрузки                              |                      | $K_{CH}$   | 2,5                                      | -  | -   |
| 3        | Коэффициент трансформации и схема соединения обмоток ТТ   |                      | $K_{ТТ}$   | 300/5<br>$\Delta$<br>$K_{CX} = \sqrt{3}$ | 300/5<br>$\Delta$<br>$K_{CX} = \sqrt{3}$ | 3000/5<br>$Y$<br>$K_{CX} = 1$                   |
| 4        | Первичный расчетный ток срабатывания защиты               | Максимальной токовой | $I_{C.3.} = \frac{K_H \cdot K_{CH} \cdot I_{НОМ}}{K_B}$<br>$K_H = 1,2 \quad K_B = 0,8$ | 472                                      | -  | -   |
|          |   | От перегрузки        | $I_{C.3.} = \frac{K_H}{K_B} \cdot I_{НОМ}$<br>$K_H = 1,05 \quad K_B = 0,8$             | -  | -  | 3020  |
|          |   | Реле обдувки         | $0,7 \cdot I_{НОМ}$  | -  | 88                                       | -   |
| 5        | Ток уставки реле (А)                                      |                      | $I_{УСТ} = K_{CX} \cdot \frac{I_{C.3.}}{K_{ТТ}}$                                       | 13,6                                     | 2,54                                     | 5   |
| 6        | Чувствительность защиты при двухфазном КЗ в основной зоне |                      | $K_{\eta} = \frac{0,87 \cdot I_{К.МИН}^{(3)}}{I_{C.3.}}$                               | 1,82 > 1,5                               | -  | -   |
| 7        | Тип реле и пределы уставки                                |                      | -  | РТ – 40/20<br>5 ÷ 20 А                   | РТ – 40/6<br>1,5 ÷ 6 А                   | РТ – 40/10<br>2,5 ÷ 10 А                        |

Таблица 5. Расчет токовой отсечки

| № п/п | Наименование величин  | Обозначение и расчетная формула                                  | Числовые значения           |
|-------|---|--|-----------------------------|
| 1     | Коэффициент трансформации и схема соединения трансформаторов тока   | $K_{TT}$   | 3000/5<br>Y<br>$K_{CX} = 1$ |
| 2     | Первичный расчетный ток срабатывания защиты силового трансформатора (А)                                   | $I_{с.з. \text{ тр-ра}}$   | 8650                        |
| 3     | Первичный расчетный ток срабатывания секционного выключателя по согласованию с защитой трансформатора (А) | $I_{с.з.} = K_c \cdot I_{с.з. \text{ тр-ра}}$<br>$K_c \leq 0,85$ | 7350                        |
| 4     | Ток уставки реле (А)  | $i_{уст} = K_{cx} \cdot \frac{I_{с.з.}}{K_{TT}}$                 | 12,2                        |
| 5     | Чувствительность защиты при двухфазном КЗ в основной зоне   | $K_{\eta} = \frac{0,87 \cdot I_{к.мин}^{(3)}}{I_{с.з.}}$         | 2,14 > 1,5                  |
| 6     | Тип реле и пределы уставки  |  | PT – 40/20<br>5 ÷ 20 А      |

Таблица 6. Расчет продольной дифференциальной защиты

| № п/п | Наименование величины   |  | Обозначение и расчетные формулы  | Трансформатор 25000 кВА                                       |                             |
|-------|---|--|--|---|-----------------------------|
|       |   |  |  | Числовые значения для   |                             |
|       |   |  |  | 115 кВ  | 6,3 кВ                      |
| 1     | Первичные номинальные токи  |  | $I_{НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}$   | 126   | 2300                        |
| 2     | Коэффициент трансформации и схема соединения обмоток ТТ   |  | $K_{TT}$   | 300/5<br>$\Delta$<br>$K_{CX} = \sqrt{3}$                      | 3000/5<br>Y<br>$K_{CX} = 1$ |
| 3     | Вторичные номинальные токи (А)  |  | $i_{2 \text{ ном}} = \frac{K_{CX} \cdot I_{НОМ}}{K_{TT}}$  | 3,64  | 3,84                        |
| 4     | Первичный ток небаланса без учета небаланса обусловленного неточностью уставки расчетного числа витков реле (А) |  | $I'_{н.б. \text{ расч}} = (k_{анер} \times k_{одн} \cdot t_i + \Delta U) \cdot I_{к.макс}^{(3)}$ | 258   | 4700                        |
|       |   |  |  | $k_{анер} = 1 ; k_{одн} = 1$<br>$t_i = 0,1 ; \Delta U = 0,16$ |                             |
| 5     | Первичный ток срабатывания защиты   | По условию отстройки от максимального тока небаланса | $I_{с.з.} \geq K_H \cdot I'_{н.б. \text{ расч}}$<br>$K_H = 1,3$                                  | 336   | 6100                        |
|       |   | По условию отстройки от броска тока намагничивания   | $I_{с.з.} \geq K_H \cdot I_{НОМ}$<br>$K_H = 1,3$   | 164   | 3000                        |



|    |  |   |            |      |   |
|----|--|---|------------|------|---|
| 6  | Ток срабатывания реле на основной стороне (А)  | $i_{ср.осн} = \frac{I_{с.з.} \cdot K_{сх}}{K_{ТТ}}$   | -          | 10,2 |   |
| 7  | Расчетное число витков обмотки насыщающегося трансформатора реле на основной стороне                             | $W_{осн.расч} = \frac{F_{ср.р}}{i_{ср.осн}}$<br>$F_{ср.р} = 100$                              | -          | 9,8  |   |
| 8  | Предварительно принятое число витков для установки на основной стороне   | $W_{осн}$   | -          | 9    |   |
| 9  | Соответствующий ток срабатывания на основной стороне (А)   | $i_{ср.осн} = \frac{F_{с.р.}}{W_{осн}} \omega$  | -          | 11   |   |
| 10 | Расчетное число витков обмотки насыщающегося трансформатора реле для неосновной стороны                          | $W_{1\text{ расч.}} = W_{осн\ i_2} \cdot \frac{i_{2\text{ осн}}}{i_{2\text{ неосн}}}$         | 9,5        | -    |   |
| 11 | Предварительно принятое число витков для установки на неосновной стороне   | $W_1$   | 9          | -    |   |
| 12 | Составляющая первичного тока небаланса, обусловленная округлением расчетного числа витков неосновной стороны (А) | $I_{н.б.расч}''' = \frac{W_{1\text{ расч.}} - W_1}{W_{1\text{ расч}}} \cdot I_{к.макс}^{(3)}$ | 52,5       | 950  |   |
| 13 | Первичный расчетный ток небаланса с учетом составляющей $I_{н.б. расч}'''$ (А)                                   | $I_{н.б. расч} = I_{н.б. расч}' + I_{н.б. расч}''$  | 310,5      | 5650 |   |
| 14 | Уточненное значение первичного тока срабатывания защиты (А)  | $I_{с.з.} \geq K_n \cdot I_{н.б. расч}$<br>$K_n = 1,3$  | 410        | 7350 |   |
| 15 | Уточненный ток срабатывания реле на основной стороне (А)   | $i_{ср.осн} = \frac{I_{с.з.} \cdot K_{сх}}{K_{ТТ}}$   | -          | 12,2 |   |
| 16 | Окончательно принятые числа витков   | На основной стороне (раб. обм.)   | $W_{осн.}$ | -    | 8 |
|    |  | На неосновной стороне (раб. обм + уравни. обм)  | $W_1$      | 8    | - |
| 17 | Первичный ток срабатывания защиты, соответствующий окончательно принятому числу витков (А)                       | $I_{с.з.} = \frac{F_{с.р.}}{W_{осн}} \cdot \frac{K_{ТТ}}{K_{сх}}$                             | 7500       |      |   |
| 18 | Чувствительность защиты при двухфазном КЗ на выводах низкого напряжения трансформатора в минимальном режиме      | $K_{\eta} = \frac{0,87 \cdot I_{к.мин}^{(3)}}{I_{с.з.}}$                                      | 2,06>2     |      |   |

## 9. Процесс проектирования

### 9.1 Исходными данными для проектирования служат:

1. Утвержденная проектная главная электрическая схема объекта (электрическая подстанция или ЛЭП);

- соответствие утвержденной электрической схемы объекта перспективной схеме плана развития региона;
- определение статуса строительства (модернизация, реконструкция или новое строительство);
- утверждение главным специалистом проектируемого объекта, режим работы электрических сетей, к которым подключается проектируемый объект;
- утверждение точки подключения проектируемого объекта к источникам электрической мощности;
- утвержденные режимы максимальной и минимальной аварийной мощности, и уровня напряжения в точке подключения;

2. Согласование с заказчиком, главным специалистом, поставщиком электрической мощности и с Энергонадзором. Исходные базовые основы процесса проектного производства: ПУЭ, ПТЭ, нормы технологического проектирования, типовые проекты и решения, номенклатуры отечественных заводов производителей электротехнического оборудования, щитовых устройств комплектов и комплектов.

При необходимости выделяется объем НИР при «привязке» объекта к местности с учетом климатических особенностей (грунты, ветер, гололед и др.). Определяется состав проекта: том, раздел, книга, узлы по основному проектируемому объекту и вспомогательных, а также стадии процесса проектирования.

3. Определяется ТКЗ в точке присоединения проектируемого объекта к источнику мощности.  $3I_0 I_{кз}^3$  в максимальных, минимальных ситуациях или

режимах. А также допустимое снижение напряжения и частоты. Определяются уставки РЗА для расчета селективной работы проектируемого объекта (для выбора и обоснования устройств РЗА).

Точные уставки РЗА выставляются на уровне (стадии) пусконаладочных работ, которые согласовываются с РЗА объектов на источнике электрической мощности.

## **10. Проектное производство**

Реализация перечисленных комплексов осуществляется через процесс проектирования [2;6].

Определяется состав проекта.

Определяется том; раздел; книга и узлы. Проектная и рабочая документация раздела "Релейная защита, автоматика и вторичные соединения" проектируемого объекта.

### **10.1. Стадии проектная документация**

Пояснительная записка в стадии проектная документация.

Объем пояснительной записки РЗА, отражается чертежами проекта:

- Принцип выбора и обоснования, используемых средств РЗА для трансформатора, сборных шин, отходящих линий и общеподстанционных вторичных соединений вторичных соединений. Объем и содержание щитовых устройств, комплектов и компонентов РЗА, включая противоаварийную автоматику;
- Принцип обоснования оперативного напряжения, источника оперативного напряжения. Обоснование необходимости устройств бесперебойного питания;
- Перечень типовых проектов и решений. Принцип выбора и обоснования;
- Не типовые, не серийные устройства комплекты и комплексы.
- Перечень щитов и их комплектования собственных нужд щитов постоянного и переменного тока;
- Самостоятельными разделами выполняются: средства СДТУ объекта КП и ДП в объеме связи и телемеханики, средства

коммерческого учета электроэнергии, средства автоматического пожаротушения и охраны;

- Описание работы принципиальных схем во всех режимах работы проектируемого объекта;
- Расчет уставок (это обосновывает выбранные средства РЗА). Расчеты уставок РЗА сведены в карту уставок, как демонстрация селективной работы;
- Расчет мощности собственных нужд и ТСН;
- Расчеты обоснование сечения токовых цепей и напряжения РЗА.

Графическая часть для стадии проектной документации, в составе:

- принципиальные типовые схемы РЗА (трансформатора, отходящих линий, сборных шин всех напряжений;
- карты уставок;
- главные схемы проектируемого объекта;
- основные принципиальные схемы вторичных соединений проектируемого объекта;

Примечания:

При выполнении видов проектирования реконструкции и модернизации все перечисленные сценарии также выдерживаются. Программы СМР и ПНР также сохраняются.

Однако обращают особое внимание на выбор принципов РЗА исходя из фактического напряжения собственных нужд и оперативного напряжения, а также фактического действующего электротехнического оборудования и их схемы.

Рекомендуется применение электронных средств устройств РЗА при оперативном напряжении на действующем объекте постоянного (переменного) напряжения величиной 220/110 В.

При новом строительстве объекта можно все средства РЗА оснастить микроэлектронными устройствами последних разработок.

## **10.2 Стадия рабочая документация.**

После утверждения проектной документации заказчиком, энергонадзором, тех. службой сетевой компании (генерирующей компании) в зависимости от источника мощности проектируемого объекта.

Подтверждении поставки оборудования и щитовых устройств отечественными заводами - изготовителями в соответствии с базовыми типовыми проектами. Поскольку все марки, типы щитовых устройств, панели и комплекты выбирались по действующим типовым проектам.

На основе схем типовых проектов выбираются комплекты щитов, в частности марки, наименования панелей, комплектов устройств, выпускаемых отечественным заводом-изготовителем. Уточняется и подбирается марка (тип) электроприводов электротехнического оборудования, формируются щиты постоянного и переменного тока из панелей и комплектов устройств, аккумуляторов и блоков бесперебойного питания.

Формируются щиты управления с мнемосхемой подстанции, выбором панелей управления и начинки комплектами. Формируется щит центральной сигнализации из панелей и комплектов.

Формируется щит учета электроэнергии, приборы измерения токов, напряжения могут размещаться на панелях управления, коммерческого учета на напряжение 6-10 кВ могут размещаться в КРУ 6-10 кВ.

### **10.3 Стадия рабочей документации согласуется по узлам:**

- План размещения щитов, панелей, комплектов и комплексов РЗА, чертежей их фасадов.
- Узел монтажных чертежей, выполненных с учетом встречной маркировки (на чертежах обозначены марки жил, все монтажные изделия, приборы имеют условные обозначения и порядковые номера, на изделиях, приборах имеются пронумерованные клеммы и зажимы, в соответствии с порядковыми номерами изделий, приборов).
- Все панели, терминалы и комплекты также имеют условные обозначения и порядковые номера (монтажные единицы 1Т; 2Т; 1СН; 1ЦЛ и т.д.).
- Ряды зажимов также имеют условные обозначения и порядковые номера (монтажные единицы 1Т; 2Т; 1СН; 1ЦЛ и т.д.).
- Все кабели (объединение жил монтажных жил) имеют условные обозначения и порядковые номера (монтажные единицы 1Т; 2Т; 1СН; 1ЦЛ и т.д.). причем они совпадают с обозначением на бирках по концам кабеля с добавлением условного обозначения принадлежности функциональной и месторасположения, например, ОС ЗРУ-6 (освещение, закрытого распределительного устройства 6кВ).
- Выполняется узел "кабельное хозяйство", которое включает в себя чертежи планов раскладки кабелей в ЗРУ, ОРУ различных напряжений и назначений, выполненных в масштабе. Трассы прокладки кабелей. Разрезы кабельных конструкций, узлов креплений, виды прокладок кабелей и т.д. Кабельный журнал по монтажным единицам, силовым и контрольным кабелям с учетом потерь в итоге в среднем 6%.
- По кабельному журналу выполняется заказная спецификация на кабельную продукцию и заглавный лист узла.
- По монтажным чертежам:

- плана размещения щитов, панелей, комплектов, терминалов и др. устройств;
- монтажных чертежей.

Составляют физический объем работ для расчета сметной документации раздела РЗА и вторичные соединения.

**10.4.** Разрабатываются разделы технического задания заводам - изготовителям щитовых устройств:

- щиты постоянного и переменного тока собственных нужд и оперативного тока;
- щиты управления с активными мнемосхемами объекта;
- панели защитных терминалов, комплексов и устройств по элементам объекта и напряжениям;
- панели автоматики;
- панели сигнализации;
- панели измерения и учета электроэнергии;
- связи и средств телемеханики.

В составе чертежей фасадов, по элементным схемам принципиальных и монтажных, а также рядов зажимов. К чертежам спецификации с параметрами напряжения, токов, видов присоединения, установочных размеров и т.д.

По принципиальным схемам определяют принадлежность всех элементов т.е. определяется схема внешних связей. Так, например, по схеме РЗ трансформатора токовые цепи от ТА; элементы привода выключателей по всем напряжениям; от панели образования оперативных шин кабель с жилами от шин различных назначений; цепи напряжения от TV; кабель с жилами к элементам центральной сигнализации; тоже кабель с жилами к



элементам телемеханики, то есть производится «привязка» к элементам внешних связей терминала устройства РЗ трансформатора.

### **10.5 Стадия рабочей документации «Вторичные цепи коммутации» ВК, например, в книге 3 содержатся следующие узлы:**

Содержание книги 3 раздела 1:

УЗЕЛ 1. Принципиальные схемы.

УЗЕЛ 2. План размещения панелей и щитовых устройств.

УЗЕЛ 3. Монтажные схемы.

УЗЕЛ 4. Чертежи рядов зажимов.

УЗЕЛ 5. План раскладки кабелей.

УЗЕЛ 6. Кабельный журнал.

УЗЕЛ 7. Задание заводу на изготовление щитовых устройств.

УЗЕЛ 8. Заказные спецификации.

Шифр проекта и архивный номер проекта присваивает архивная служба, согласовывая с ГИП.

### **10.6 План размещения щитов, панелей, комплектов и комплексов РЗА, чертежей:**

- Фасадов щитовых устройств;
- Монтажные чертежи;

- Для заводов-изготовителей щитовых устройств, комплектов, комплексов, устройств и приборов (марки, типы);
- Компоновок щитовых устройств в ЗРУ;
- Монтажных единиц и маркировок клемм на рядах зажимах; маркировки клемм на терминалах, устройствах и приводах оборудования; маркировка кабелей, жил на принципиальных и монтажных схемах

**10.7. Книга 3.** Релейная защита и вторичная коммутация подстанций также содержит пояснительную записку и графическую часть. Пояснительная записка содержит принцип выбора устройств РЗА трансформаторов силового и собственных нужд, секционных выключателей и отходящих линий 110 и 10 кВ. Графическая часть содержит главную схему подстанции, схему собственных нужд, схему оперативной блокировки, карту установок, принципиальные схемы РЗА, а также чертежи рядов зажимов монтажных схем щитовых устройств. При разработке не типовых щитовых устройств прикладываются фасады, монтажные схемы этих устройств, а также задания заводу на их изготовление.

**10.8.** В узле 6 (книга 3, раздел 1) "Кабельное хозяйство" содержатся кабельный журнал и чертежи планов раскладки кабелей, кабельных конструкций и др. чертежи. Кабели выпускаются с медными и алюминиевыми жилами, одножильными, трехжильными и многожильными, силовые и контрольные, на промышленную частоту и высокочастотные, для постоянного тока, с пластиковой, бумажной, пропитанной и маслонаполненной изоляцией, бронированные и голые (без

брони), высоковольтные и низкого напряжения (0,4 кВ). Кабельная продукция выпускается заводами *Москабель*, *Севкабель*, *Пермкабель* и другими. Например, кабель марки *АВВГ* – это алюминиевый кабель с пластиковой изоляцией и оболочкой на напряжение 0,4...10 кВ, небронированный; *СЭП* – кабель на напряжение 0,4...10 кВ, одножильный с пластиковой изоляцией и оболочкой; *ААШВу* – кабель с бумажной маслопропитанной изоляцией, трехжильный на напряжение 6...10 кВ, без брони, имеет алюминиевую оболочку; *МНДТ* – маслонаполненный кабель низкого давления на напряжение 1кВ и выше; *МВДТ* – то же, но высокого давления.

*В таблице ссылочные материалы приводятся номера и названия Типовых проектов и решений, номера и названия используемых чертежей (приведены в перечне Литературы), при этом в проект чертежи не прикладываются.*

## **11. Устройства, предотвращающие отказ, аварию, электрооборудования и работу релейной защиты.**

Перспективные направления в области устройств, предотвращающие отказ, электрооборудования, сигнализируя деградацию электрической изоляции экономически эффективны.

Сущностью этого направления является своевременная регистрация параметров, развитие которых могут приводит к отказу электротехнического оборудования или изменению режимов работы оборудования и системы.

То есть превентивно вывести из работы оборудования или часть системы где происходит процесс ухудшение электрических параметров, развитие которых может привести к отказу. Эффект заключается в том, что авария еще не произошла, а оборудования или часть системы выводится на ремонт с предварительным включением режима резервного варианта электроснабжения. Необходимость этого процесса регистрируется комплексом технических средств, а средствам МПРЗА предстоит функционировать только при вмешательстве в элементы электроснабжения третьей внешней силы или ошибка технического персонала.

Внедрение предлагаемого технического решения увеличивает свою эффективность при использовании аналога "нейронной сети" и оптоволоконных [19] средств передачи информации. Перспектива использования - подстанции напряжением 500кВ и выше. Полученная информация о развитии предаварийной ситуации регистрируется средствами сигнализации.

Ниже приводятся примеры технических средств, предвещающих развитие отказа.

### 11.1. Регистрация динамики увеличения частичных разрядов в материалах, составляющих элементы электротехнического оборудования;

Частичные разряды [27] являются явным индикатором продолжающейся деградации электрических изоляционных систем. Постоянное отслеживание частичного разряда или запланированные онлайн-измерения помогают обнаружить зарождающийся отказ. Одно из оборудования, используемое AIR LIQUIDE для измерения активности частичного разряда – это система ICM, поставляемая компанией Power Diagnostic.

Установка соединителей требует следующие подключения:

- Высоковольтное подключение между фазовой шиной и высоковольтной клеммой соединителя.
- Замыкание на землю между алюминиевой коробкой соединителя и защитным заземлением.
- Сигнальный кабель между каждым соединителем и соединительной клеммной коробкой СТВ1.
- Замыкание на землю между соединительной клеммной коробкой и защитным заземлением.

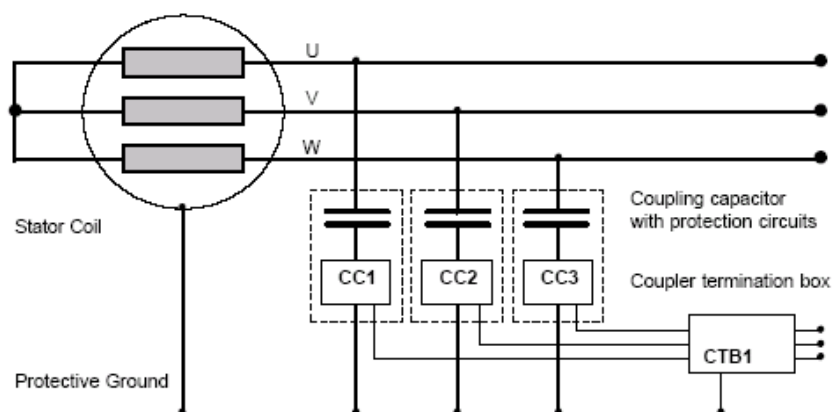


Рисунок 8. Присоединение устройства Power Diagnostics

Конденсаторы должны быть подключены рядом с фазовой соединительной клеммой.

Коробка СТВ1 монтируется снаружи высоковольтной зоны в таком месте, в которое позднее можно легко получить доступ для проведения замеров. Расстояние между соединителем и СТВ1 не должно превышать 20м. Клеммная коробка обеспечивает заземление оболочкам сигнальных кабелей. Таким образом, СТВ1 должна быть подсоединена к заземляющей защите отдельным кабелем. Для того, чтобы измерять PDs (частичные разряды) на электродвигателях требуются следующее оборудование и компоненты:

- Соединители
- Узел накопления
- Сигнальные правящие предусилители
- Кабели
- Калибровочный генератор
- ICM системное программное обеспечение

## **Соединители**

Номинальное напряжение оборудования определяет тип выбранного конденсатора связи. Поставщик предлагает два основных типа соединителей: Для двигателей и малых генераторов с номинальным напряжением до 12kV используется соединитель CC14B. Если номинальное напряжение выше 12kV используется CC20B, который может использоваться до 24kV.

## **Узел накопления**

Узел накопления системы ICM включает все необходимые модули и сети, такие как усилители, A/D преобразователи, микроконтроллеры для накопления паттерна и связанных измерений частоты или напряжения.

Передняя панель узла накопления имеет различные коннекторы ввода и вывода сигнала для стробирования, сигналов частичного разряда, синхронизации и несколько световых индикаторов для обозначения происходящей коммуникации и работающего накопления.

### **Сигнальные предусилители.**

Адаптация к специфическим нуждам требует выбор подходящих предусилителей. AL использовал только два из существующих предусилителя:

RPA 1 – это стандартный предусилитель для измерений в низкочастотном диапазоне: 40 kHz-800 kHz.

RPA 2 – сигнальный правящий предусилитель, который предназначен для измерения частичного разряда в частотном диапазоне выше диапазона, который обеспечивает сама система ICM. Его основная функция передавать рабочий диапазон высокочастотного сигнала, обнаруженного в диапазоне 2-20 MHz в частотный диапазон, который может быть принят системой ICM. Таким образом, сигнал на выходе отражает частотное содержание между 100kHz и 800 kHz рабочего диапазона сигналов, обнаруженных между 2MHz и 20 MHz.

Калибровочный импульсный генератор CAL1E позволяет калибровать измерение PD. Отображаются как амплитуда (Диапазон), так и полярность (пол/отр) пульса единичного заряда на цикл. Они регулируются нажатием двух кнопок на генераторе. Прибор синхронизирован с линейной

частотой при помощи фотодиода. В случае недостаточности выбора света частоты сети, он автоматически выберет внутренний кварцевый излучатель.

## **Программное обеспечение**

Стандартное программное обеспечение управления системой ICM обладает всеми функциями необходимыми для управления видом приборов и редактирования параметров уставок, а также для собирания данных и просмотра результатов. Оно также обладает функциями для перезагрузки, хранения и экспортирования собранной информации.

Контроль за частичными разрядами может позволить судить о состоянии твердой изоляции обмоток и трансформаторного масла. Как правило количество разрядов возрастает лавинообразно, а соответственно определив тенденцию можно выдать заключение о необходимости скорого ремонта.

**11.2.** Регистрация динамики увлажнения изоляционных материалов электротехнического оборудования;

- Регистрация динамики увлажнения изоляционных материалов может позволить заранее предотвратить аварию, связанную с попаданием влаги в оборудование вследствие его не герметичности.

**11.3.** Регистрация динамики газообразования;

- Увеличение количества малых разрядов масле вызывает постепенное увеличение газообразования.

**11.4.** Регистрация появления ВЧ составляющих в электрической сети, автоматическая регистрация характера и сравнение их с ранее зафиксированными;



- Опасным явлением можно назвать появление ВЧ гармоник в сети, эти токи неблагоприятно влияют на оборудование (в основном индукционное) вызывая его подмагничивание и перегревы при номинальных токах работы.

**11.5.** Измерение увеличения потерь встали трансформатора без его отключения;

**11.6.** Регистрация ВЧ гармоник напряжения и сравнение на разных ступенях трансформатора фазы и величины [23];

**11.7.** Автоматическая хроматография состава газа в газовом реле;

**11.8.** Регистрация увлажнения в приводной части бака трансформатора, реактора;

- Данное решение позволит определить потерю герметичности уплотнений приводов (например – РПН), а соответственно увлажнение масла или его потерю.

**11.9.** Снятие частотной характеристики и автоматическое сравнение с ранее записанными характеристиками;

**11.10.** Измерение  $\text{tg}$  под напряжением, измерение омического сопротивления изоляции без вывода оборудования из эксплуатации.

**11.11.** Измеряемые параметры тангенса диэлектрических потерь также связано со свойствами трансформаторного масла и других материалов изменять свое электрическое сопротивление при «электрическом старении» вещества.

**11.12.** Регистрация частотных импульсов (параметров полосы частот) в автономной части системы одного по величине напряжения, например, линия электропередачи, соединяющая по концам обмотки одного напряжения двух трансформаторов.

Известны устройства автоматической диагностики электрооборудования и ее элементов под рабочим напряжением.

Например, КИВ-500 устройство автоматической диагностики изоляции вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением. Вариант этого устройства выпускался в РФ.

Ниже предлагается в качестве базовых вариантов устройства, превентивно исключая возможные отказы, аварию, электрооборудования и тем исключают работу релейной защиты силовых трансформаторов.

**11.13.** Постоянный автоматический мониторинг конструктивных параметров обмотки и ее изоляционных характеристик [17].

Ниже приведена разработка с участием автора, рекомендуемая для использования в качестве базового варианта дальнейших разработок.

Стационарное средство диагностирования изоляции силовых трансформаторов под рабочим напряжением.

Предлагаемое решение может быть применено для мониторинга за деградацией обмоточной изоляции силовых трансформаторов класса 110 кВ, находящихся под рабочим напряжением.

Известно аналогичное устройство для контроля состояния изоляции обмотки электрооборудования, содержащее параметрические преобразователи, два перестраиваемых фильтра, резонансные усилители, генераторы пилообразного напряжения и тактовых импульсов, формирователи длительности импульсов, АЦП, ЦАП, блоки индикации, компараторы и исполнительные блоки (Авторское свидетельство СССР А. С. № 1793396 G01R 31/06). А также Авторское свидетельство изобретения автора № 599196 опубликовано в РЖ «Открытия, изобретения», № 11 с. 143, М. 1978г.

Недостатком данных устройств является то, что они очень сложны по схеме и тем самым в эксплуатации, а также имеется необходимость в

дополнительных технических сложных средствах, которые, находясь в последовательной цепочке, уменьшают надежность.

Наиболее близким альтернативным по техническим характеристикам является переносное устройство для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов, содержащее усилитель, переносной компьютер, блок питания, емкостный высоковольтный делитель с блоком отбора напряжения тестовых импульсов, фильтры присоединения в комплекте с усилителями и электронными блоками защиты от импульсов переходных режимов. Однако, оно обладает недостатком, который заключается в том, что оценка изоляции производится для трансформаторов низкого напряжения, что ограничивает область его применения.

Целью предлагаемого технического решения является повышение достоверности информации о состоянии обмоточной изоляции силовых трансформаторов класса напряжения 110 кВ и выше, находящихся в рабочем режиме, при этом упрощается функциональная схема, а также производится расширение оценки состояния изоляции силового трансформатора.

На рисунке 9 представлена структурная схема стационарного средства диагностирования изоляции силовых трансформаторов под рабочим напряжением (ССДИ).

Стационарное средство диагностирования изоляции силовых трансформаторов под рабочим напряжением содержит два широкополосных перестраиваемых фильтра присоединения с блоками защиты 6 и 7 (Рис. 9), входом соединенные через высоковольтные экранированные проводники 4 и 5 и фильтры присоединения 2 и 3 к диагностируемому трансформатору 1, способные функционировать в диапазоне необходимых частот, возникающих в сети высокого напряжения.

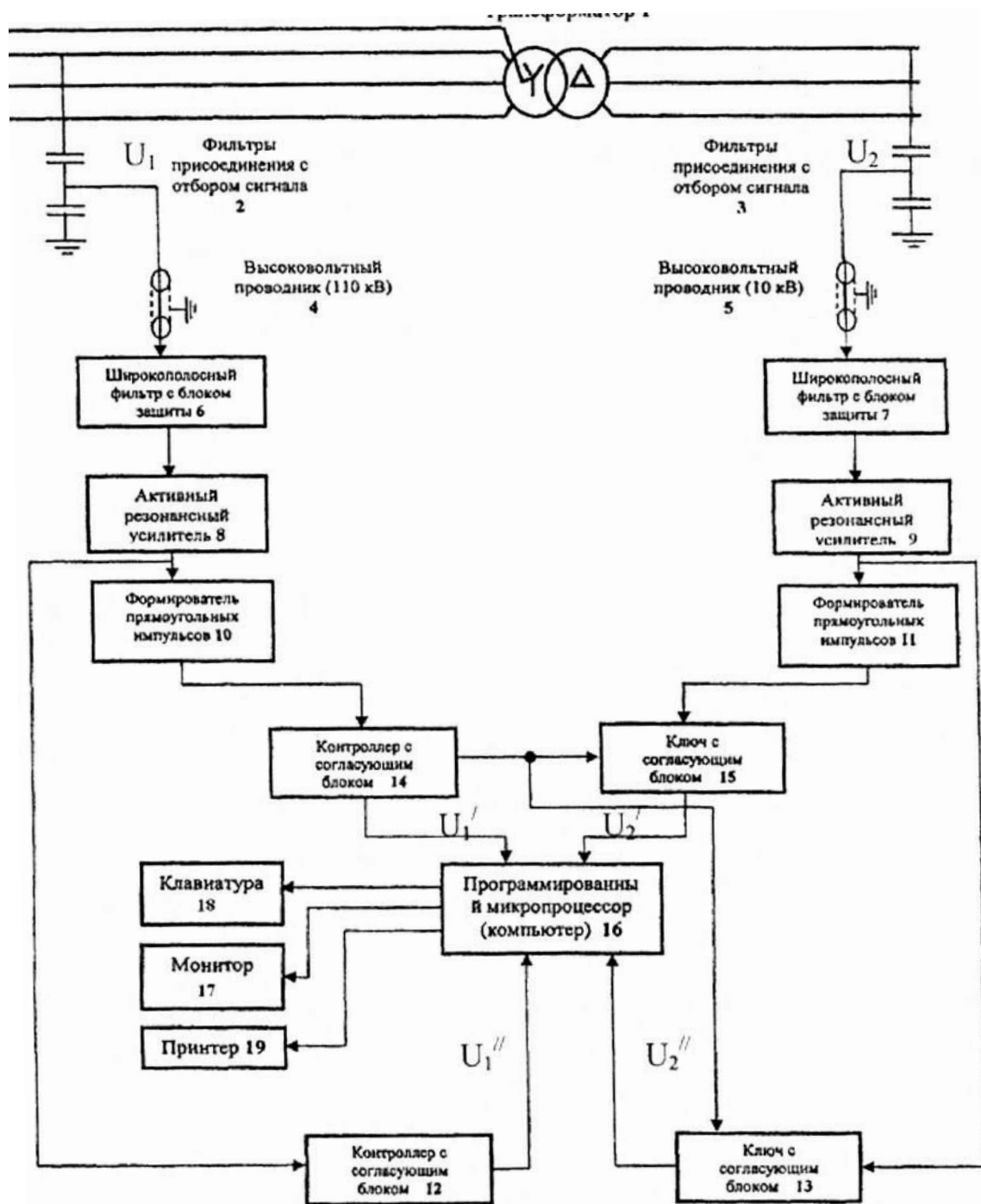


Рисунок 9. Функциональная схема стационарного средства диагностирования изоляции силовых трансформаторов под рабочим напряжением

При этом выход первого перестраиваемого фильтра 6 соединен через первый активный резонансный усилитель 8, формирователь прямоугольных импульсов 10, контроллер с согласующим блоком 14 с первым входом

программируемого микропроцессора 16. Выход второго перестраиваемого фильтра 7 соединен через второй активный резонансный усилитель 9, формирователь прямоугольных импульсов 11, ключ с согласующим блоком 15 со вторым входом программируемого микропроцессора 16, имеющего монитор 17, клавиатуру 18 и принтер 19. При этом первый контроллер 14 способен воздействовать на первый и второй ключи с согласующими блоками 15 и 13 соответственно. С активного резонансного усилителя сигнал способен поступать и на вход второго контроллера с согласующим блоком 12 и далее в порт программируемого микропроцессора.

Устройство работает следующим образом: сигналы переходных процессов в электрической сети, возникающие с частотой один раз в три месяца (по данным эксплуатации), проходят через обмотки силового трансформатора 1, снимаются с устройства отбора напряжения – фильтра присоединения 2 (сигнал  $U_1$ ), с фильтра присоединения 3 (сигнал  $U_2$ ), которые поступают через кабель присоединения 4 и 5 и на вход каскадно-включенных широкополосных фильтров с блоками защиты 6 и 7, с активными резонансными усилителями 8 и 9, а выходы у упомянутых каскадов подключены на входы формирователей прямоугольных импульсов 10, 11 и на входы второго контроллера 12 с согласующим блоком и ключа 13, также с согласующим блоком. Далее сигналы с выходов формирователей прямоугольных импульсов 10 и 11 поступают во входы первого контроллера 14 и ключа 15 с согласующими блоками, затем сигналы  $U'_1$  от контроллера 14 и  $U'_2$  с выхода ключа 15, а сигналы  $U''_1$  от контроллера 12 и соответственно  $U''_2$  с выхода ключа 13 поступают на входы первого и второго программируемого микропроцессора 16, снабженного монитором 17, клавиатурой управления 18 и принтером 19.

При этом первый критерий ухудшения состояния изоляции – это информация об угле смещения фронта прямоугольных импульсов между  $U'_1$  и  $U'_2$ , показывающая увлажнение и старение внутренней обмоточной изоляции, а сравнением с предыдущими значениями замеров угла

прогнозируется срок вывода оборудования на капитальный ремонт по состоянию ухудшения изоляции. Вторым критерий – это сравнение формы текущего сигнала  $U''_2$  с предыдущими, поэтому можно судить о витковых замыканиях в обмотках или состоянии изоляции шихтовки ярма. И, наконец, по третьему критерию, а именно по отношению  $U''_1 / U''_2$  на частотах  $U_{\max}$ ,  $U_{\min}$  резонансных характеристик  $U=F(f)$  на полосе пропускания 30-150 кГц можно дополнительно оценить состояние обмоточной изоляции.

Контроллер 14 управляет открытием тракта прохождения сигналов  $U'_2$  и  $U''_2$  через логический «ключ» 13 и 15, тем самым исключается в начальной стадии проникновение сигналов в устройство со стороны сети низкого напряжения.

Сигнал для контроля в устройство поступает из сети высокого напряжения к трансформатору 1, и далее различаются сигналы  $U'_1$  и  $U''_2$ , по аналогичной форме сигналы  $U''_1$  и  $U'_2$ , смещение фронта по фазе  $U'_1 / U'_2$  учитывается программой, заложенной в микропроцессор, в котором происходит оценка состояния изоляции.

Источником высокочастотных сигналов в электрической сети являются дефекты в гирляндах изоляторов, коммутация электрической нагрузки, одновременное срабатывание фаз выключателей при их коммутации, переходные процессы в электрических сетях, обрыв проводов с падением на землю, помехи при работе электрических печей и т.п.

**11.14.** Вариант переносного устройства для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов. Контроль состояния изоляции силовых трансформаторов напряжением 6-35/04кВ под рабочим напряжением [18]. Техническое решение относится к устройствам контроля состояния внутренней изоляции электрооборудования, находящейся в рабочем режиме, исследование физического процесса производилось на силовых трансформаторах I-II габаритов, находившихся в эксплуатации в сельских сетях и использовавшихся в качестве стендового образца.

Известно альтернативное устройство для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов, содержащее два выпрямителя, входы первого из которых через кабель соединены с выводами низковольтной обмотки, а входы второго через другой кабель соединены с выводами высоковольтной обмотки контролируемого силового трансформатора, и блок индикации.

Недостатком этого устройства является то, что контроль производится на одной из резонансных частот элементов обмотки из интервала (10...300) кГц, что ограничивает область его применения.

Наиболее эффективным по технической сущности является устройство диагностирования изоляции электрооборудования, например, силовых трансформаторов I-III габаритов, находящихся в отключенном рабочем режиме, содержащее усилитель с генератором синусоидальных высокочастотных импульсов, переносной компьютер, например, ноутбук, блок питания, фильтры от помех.

Недостаток этого устройства заключается в том, что оценка изоляции производится в одном режиме (отключенном), а системное ухудшение состояния изоляции с возможным ее повреждением происходит в другом режиме (под рабочим напряжением) электрооборудования.

Целью предлагаемого технического решения является повышение достоверности в оценке и сравнении состояния изоляции электрооборудования, например, силовых трансформаторов I-III габаритов, находящихся в рабочем режиме.

Поставленная цель достигается тем, что устройство, содержащее усилитель с генератором синусоидальных высокочастотных импульсов, например, 20, 30, 50, 80, 100, 160 кГц, переносной компьютер, например, ноутбук, блок питания, фильтры, исключающие проникновения помех, снабжено емкостным высоковольтным делителем с блоком отбора напряжения тестовых импульсов, фильтрами присоединения, содержащими усилители и электронные блоки защиты от импульсов переходных

процессов в электрической сети, к которым подключено контролируемое электрическое оборудование, а также параметрическими согласующими блоками, позволяющими присоединение цепей контроля ко входу переносного компьютера, высоковольтными изолированными проводниками со съемными зажимами для подключения устройства контроля к выводам контролируемого электрооборудования.

На рисунке 10 представлена функциональная схема переносного устройства для контроля состояния изоляции силового трансформатора I-III габарита, контролируемый трансформатор 1 с выводами высоковольтной 2, низковольтной 3 обмоток, которые посредством изолированных проводов 4 и 5 со съемными зажимами присоединяются к переносному устройству для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов.

Устройство состоит из высоковольтного емкостного делителя 6 с блоком 7 отбора напряжения тестовых импульсов, фильтров присоединения 8, 9, фильтров 10, 11 с защитой от помех, параметрических согласующих блоков 12, 13, для подключения упомянутых цепей контроля к входу переносного компьютера 14, а также усилителя с генератором 15 синусоидальных высокочастотных импульсов и блока электропитания 16.

Устройство работает следующим образом:

Генератор 15 вырабатывает синусоидальные высокочастотные импульсы, например, пакет из шести импульсов вышеупомянутых частот, а сблокированный с ним усилитель усиливает эти импульсы, компьютер 14 по заданной программе дает команды генератору 15 на чередование длительности и паузы сигналов, а также порядок чередования импульсов, чтобы этот пакет различал "свой - не свой" в помехах сети, этот пакет импульсов через фильтр 11 от помех и фильтр присоединения 9 с помощью кабеля 5 поступает на низковольтные вводы 3 контролируемого силового трансформатора 1.



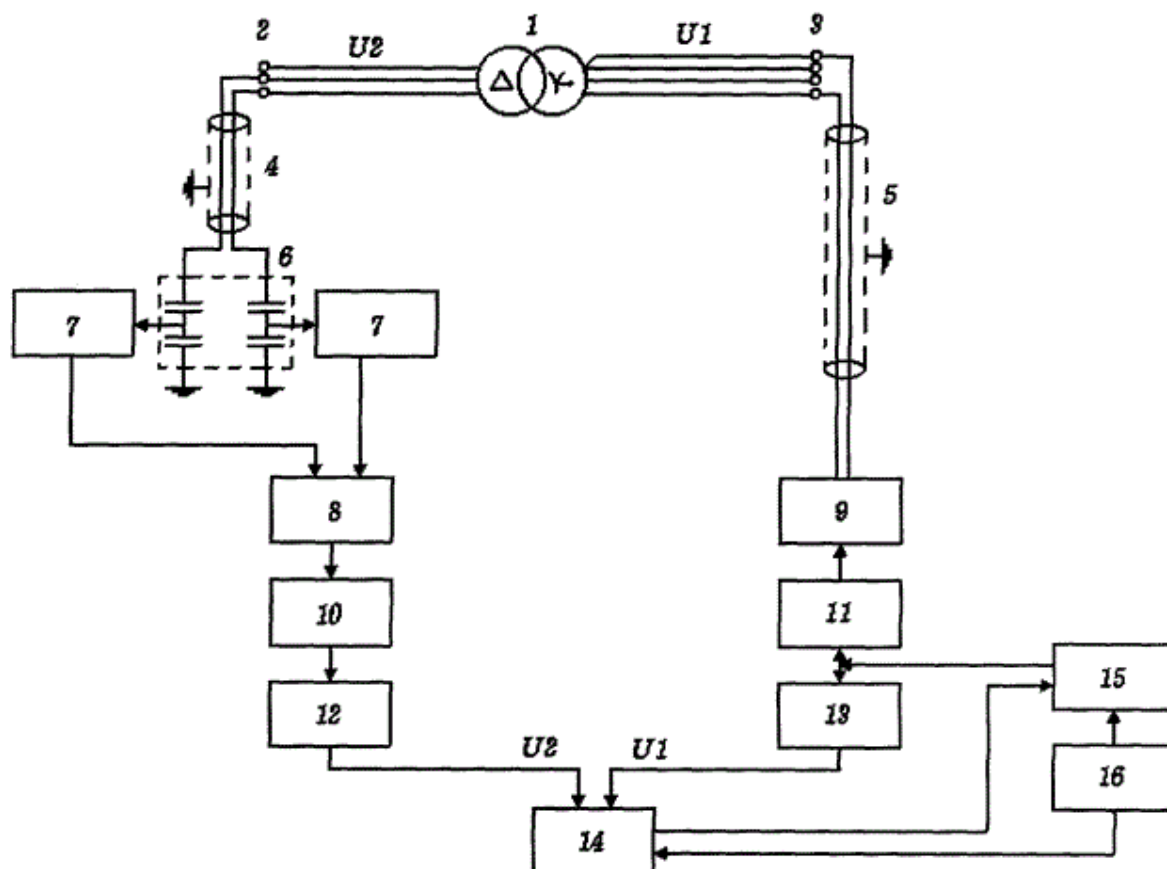


Рисунок 10. Функциональная схема переносного устройства для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов

Этот пакет импульсов, пройдя через обмотки контролируемого трансформатора 1, поступает на соответствующие высоковольтные вводы 2 и с помощью кабеля 4 через высоковольтный емкостной делитель напряжения 6 и блок 7 отбора напряжения поступает на вход фильтра присоединения 8 и с его выхода через фильтр 10 от помех и согласующий блок 12 поступает в компьютер 14. Базовые сигналы этого пакета импульсов от генератора 15 через согласующий блок 13 поступают также в компьютер 14. К блоку электропитания 16 подключены компьютер 14, генератор 15, а от них запитаны все блоки и фильтры устройства 8-13. Компьютер 14 по заданной программе производит расчет критерия оценки состояния изоляции в виде отношения базовых уровней напряжения  $U1$  и уровней напряжения  $U2$  (коэффициента передачи), прошедших через изоляцию контролируемого трансформатора 1, и отношение  $(U1-U2)/U1$  и

( $U/U_1$ ) по пакету сигналов. В дальнейшем производится сравнение текущих величин с первыми и с предыдущими величинами, хранящимися в памяти компьютера. В память компьютера внесены все контролируемые объекты с их первоначальными измеряемыми величинами и накопительные последние замеры. Замеры снимаются с контролируемого оборудования находящегося в рабочем режиме в одно и то же время сезона зима-лето с учетом температуры окружающего воздуха и электрической нагрузки.

Частоты импульсов генератора 15 уточняются с собственной частотой слоя, катушки и обмотки в целом контролируемого трансформатора, метод контроля базируется на явлении: при ухудшении изоляции обмотки трансформатора нелинейные частотные характеристики смещаются в сторону уменьшения частоты. Устройство позволяет также оценивать состояние изоляции, как между элементами оборудования, так и относительно корпуса.

В результате оценочные величины будут отличаться от первоначальных, когда изоляция была "чистой", по динамике отклонения измеряемых величин контролируемого электрооборудования, тем самым возможно сохранить электрооборудование для дальнейшей эксплуатации.

## **12. Устройство для присоединения к измерительному трансформатору.**

Известно устройство [19] для присоединения к выводам вторичной обмотки измерительных трансформаторов тока и напряжения, состоящего из клеммного шкафа и присоединенными жилами контрольного кабеля, на другом конце которого подключены электрические реле и приборы измерения и учета.

Подключенные к измерительному трансформатору электрические реле и приборы измерения и учета могут быть установлены за сотни метров от главного щита управления объекта со значительным сопротивлением токовой жилы.

Измерительные трансформаторы тока работают в режиме короткого замыкания иначе класс их точности достигается при минимально возможном сопротивлении нагрузки на вторичной обмотке.

Величина сопротивления нагрузки на вторичной обмотке регламентируется допустимой 10% погрешностью, которая приводится заводом в паспорте оборудования. В сопротивление нагрузки на вторичную обмотку входит сопротивление жилы контрольного кабеля, реле и токовых обмоток приборов измерения и учета; сопротивление не линейно и зависит от кратности сверх тока к номинальному.

Недостатком является превышение допустимого сопротивления нагрузки на вторичную обмотку, в которую входит сопротивление жилы контрольного кабеля, реле и токовых обмоток приборов измерения и учета; сопротивление не линейно и зависит от кратности сверх тока к номинальному. Превышение является следствием больших расстояний от измерительного трансформатора до главного щита управления.

Известно [20], что измерительные трансформаторы напряжения работают в режиме холостого хода и класс точности достигается при максимально возможном сопротивлении нагрузки на вторичной обмотке.

В сопротивление нагрузки на вторичную обмотку входит сопротивление жилы контрольного кабеля, реле и обмоток напряжения приборов измерения и учета.

Недостатком также является превышение допустимой кратности номинального напряжения к величине «провала» напряжения и это существенным дополнительным общим недостатком является подверженность контрольного кабеля влиянию сторонних электромагнитных полей, что отражается на надежности и качестве работы реле, приборов измерения и учета. Использование экранированного контрольного кабеля полностью проблему не исключает.

Целью предлагаемого технического решения это уменьшения влияния на класс точности измерительных трансформаторов сопротивления жилы контрольного кабеля, подключенных реле и приборов измерения и учета, а также влияния внешних электромагнитных полей на контрольный кабель, передающий информацию от измерительных трансформаторов.

Цель технического решения достигается тем, что устройство для присоединения к вторичной обмотке измерительного трансформатора электрической нагрузки, содержащая на каждой фазе измерительный трансформатор тока или напряжения, клеммный шкаф и подключенный к нему контрольный кабель, дополнен упомянутый клеммный шкаф каскадно подключенными к выводам вторичной обмотки: нагрузочным сопротивлением и вводами первого блока из выпрямителя с стабилитроном, к выводам первого блока из выпрямителя с стабилитроном подключены ввода второго блока из формирователя прямоугольного импульса, поступающего аналогового сигнала; к выводам второго блока, включающего формирователи прямоугольного импульса, преобразования поступающего аналогового сигнала, подключены ввода третьего блока из преобразователя цифровой информации, поступающего прямоугольного импульса;

к выводам третьего блока преобразователя цифровой информации, поступающего прямоугольного импульса, подключены ввода четвертого блока из преобразователя оптической информации, поступающей в него цифровой информации.

К выводу четвертого блока из преобразователя оптической информации, поступает цифровая информация, с помощью подключенного оптико-волоконный кабеля. С помощью подключенного оптико-волоконный кабеля производится также передача информации к реле и приборам измерения и учета, расположенных на главном щите управления объекта.

Сущность предлагаемого технического решения поясняется Фиг., где 1-измерительный трансформатор (тока или напряжения); 2-сопротивление нагрузки; 3- первый блок из выпрямителя, фильтра и стабилизатора; 4- второй блок из формирователя прямоугольных импульсов аналогового сигнала; 5- третий блок из преобразователя прямоугольных импульсов цифровую информацию; 6- четвертый блок из преобразователя цифровой информации в оптическую; 7- оптико-волоконный кабель передачи информации оптической в главный щит управления (ГЩУ) объекта; А - фаза А проводника; В- фаза В проводника; С - фаза В проводника.

Устройство работает следующим образом:

Измерительный трансформатор (1) тока бывают встроенные в оборудование, например, серии ТВТ в ввод трансформатора или ТВ в ввод выключателя, а также как отдельное электрооборудование серии, например, ТФНД с количеством вторичных обмоток от двух до четырех, например, 200/5; 300/5; 400/5; 600/5, в числителе – первичный, в знаменателе – вторичный номинальные токи 5А. В РФ также выпускают трансформаторы с вторичным номинальным током в 1 А. Измерительный трансформатор (1) напряжения выпускаются в трехфазном, например, НАМИ, НТМИ и по фазном исполнении НОМ, НКФ как отдельное электрооборудование с коэффициентом трансформации  $U/100V$ , в числителе - первичное

напряжение, в знаменателе - вторичное линейное номинальные напряжения. На вывод вторичной обмотки шунтом включено нагрузочное сопротивление- (2), для трансформатора тока величиной 0,1 Ома и менее, а для трансформатора напряжения 1,0 мОм и более. На выводе вторичной обмотки (на фигуре изображены условно снизу на блоках - (1) пара отрезков - выводы) также подключены ввода первого (3) блока из выпрямителя, фильтра и стабилитрона. В случае нормального режима величина сигнала на выводе первого блока равна, по основной гармонике действующего значения, уменьшенное в принципе на коэффициент трансформации, в случае переходного режима величина импульса так же равна, по основной гармонике действующего значения, уменьшенное в принципе на коэффициент трансформации. С вывода первого блока (3) сигнал и импульс поступает на ввод второго блока (4) из формирователя прямоугольных импульсов аналогового сигнала или импульса пропорционально уменьшенное на коэффициент передачи блока. Далее с вывода второго (4) блока прямоугольные сигналы или импульсы, пропорциональные по величине аналогового сигнала или импульса, поступают на ввод третьего блока (5) из преобразователя прямоугольных сигналов или импульсов в цифровую информацию, в котором величина прямоугольных сигналов или импульсов показана цифрой; Затем цифровая информация с вывода третьего блока (5) поступает на ввод четвертого блока ( 6) из преобразователя цифровой информации в оптическую информацию, в которой мощность светового потока пропорциональна величинам цифровой информации, и далее световой поток по оптико-волоконному (7) кабелю передается устройствам в ГЩУ для обратного преобразования в цифровую или прямоугольную, по форме информацию, для дальнейшей обработке или использования. На каждом из этапов используемая информация приводится к параметру первичной обмотке измерительного трансформатора (1). При этом в ГЩУ, подключены к оптико-волоконному кабелю через блок обратного преобразования оптической информации в

цифровую и далее блок обратного преобразования цифровой в аналоговую импульсную прямоугольную. И становится возможным присоединение к выводам блоков обратного преобразования цифровому блоку и блоку прямоугольного импульса сколь необходимого количество реле, приборов измерения и учета, причем на величину класса точности измерительного трансформатора (1) это не влияет.

С использованием оптико-волоконного кабеля исключается влияние внешних электромагнитных полей на процесс кабельной передачи информации с измерительного трансформатора (1) в контролируемый пункт ГЩУ. Этим выполняется поставленная цель.

Дополнительным положительным эффектом от внедрения предполагаемого технического решения является то, что повышается область использования:

- расширение функциональных возможностей измерительного трансформатора в части увеличения количества, подключаемых реле и приборов;
- уменьшения количества вторичных обмоток и их класс точности, возможно присоединение к одной вторичной обмотке высокого класса точности цепей измерения, учета и реле.
- представляются упрощения конструкции измерительного трансформатора в части его компактности.

### **13. Заводы - изготовители современных устройств релейной защиты, противоаварийной автоматики**

Современная микропроцессорная автоматика динамично внедряется в объекты электроэнергетики, заменяя электромеханические устройства. Один блок защиты позволяет реализовать намного большее количество защит, а также такие, которые невозможно собрать из электромеханических реле, например, «определение места короткого замыкания на землю».

Ниже в таблице 7 приведена информация по основным защитам и производителям.

Таблица 7. Перечень производителей защит

| №<br>п/п | Наименование<br>предприятия           | Описание   |
|----------|---------------------------------------|--|
| 1        | НПП Динамика                          | Аппаратура для проверки РЗА семейства РЕТОМ.   |
| 2        | НПП ЭКРА                              | Микропроцессорные защиты ШЭ-2607 и другая продукция НПП ЭКРА.  |
| 3        | НПФ Радиус - автоматика               | Микропроцессорные защиты, средства ОМП и другая продукция.   |
| 4        | ОАО ЧЭАЗ                              | Электромеханические и полупроводниковые реле и защиты.   |
| 5        | ОАО ВНИИР                             | Реле и другая продукция.   |
| 6        | Уралэнергосервис                      | Аппаратура ТриТОН, АКА КЕДР, ПВЗУ-Е.   |
| 7        | НПО Московский радиотехнический завод | Фильтры присоединения ФПМР, ФПФ, ФПО; разделительные фильтры ФРМР  |
| 8        | Раменский электротехнический завод    | Аппаратура ВЧ обработки и другая продукция электротехнического назначения                                      |
| 9        | Рижский технологический университет   | Микропроцессорные регистраторы РЕМИ, защиты РЕДИ. Программное обеспечение, конфигурации, технические описания. |



|    |  |   |
|----|--|---|
| 10 | НПП Хартрон-инкор                      | Крупнейший в Украине производитель микропроцессорных устройств РЗА для высоковольтного оборудования                       |
| 11 | ЗАО Шнейдер - электрик                 | Устройства семейства Seram и другая продукция.  |
| 12 | ИЦ Бреслер                             | Микропроцессорные защиты 6-750 кВ, программное обеспечение.   |
| 13 | ПО Элтехника                           | Микропроцессорные блоки релейной защиты IPR и другая продукция.   |
| 14 | ABB релейная защита                    | Один из крупнейших производителей РЗА и другой электротехнической продукции.  |
| 15 | НТЦ Механотроника                      | Микропроцессорные защиты и устройства АСУ.  |
| 16 | НИИ Энергетики ЮргТУ                   | Известный разработчик и производитель дуговых защит и других устройств РЗА  |
| 17 | Техэлектро СП                          | Щиты постоянного тока, системы поиска "земли" и прочая аппаратура для ЩПТ   |
| 18 | Реон - техно                           | Запчасти к электротехническому оборудованию, релейная аппаратура.   |
| 19 | РЕЛСiС - релейные сети и системы       | ОАО «Электротехнический завод». Это киевский завод реле и автоматики. Один из ведущих производителей релейной аппаратуры. |
| 20 | Чебоксарский электромеханический завод | Еще один производитель РЗА в "Мекке релейщиков".  |
| 21 | РЗА - AREVA                            | AREVA - еще один из крупнейших производителей РЗА и другой электротехнической продукции.                                  |
| 22 | GE Multilin                            | Зарубежный производитель релейных защит и другого оборудования.   |
| 23 | ООО "ПАРМА"                            | Цифровые регистраторы аварийных процессов, ВАФ-А и другие измерительные приборы.  |
| 24 | ООО "ВЕКТОР-Д"                         | Оборудование для испытания релейных защит, элементов автоматики и автоматических выключателей.                            |

В таблицу 8 сведены модели защит распространённых производителей:

Таблица 8. Производители и модели устройств РЗА.

| Наименование защит                                      | Производство, модель                                 |                               |  |  |               |   |
|---|--|-------------------------------|--|--|---------------|---|
|   | Радиус Автоматики                                    | ABB Group                     | Siemens                                  | Schneider Electric                               | Механотроника | Релематика                                |
| 1. Защита силовых трансформаторов и автотрансформаторов | СИРИУС-Т<br>СИРИУС-ТЗ<br>(трех об.)<br>СИРИУС-БПТ    | RET-650<br>RET-670            | 7UT612<br>7UT613<br>7UT633<br>7UT635     | MiCOM P63x                                       | БМРЗ-ТД       | Ш2500.08.21<br>Ш2600.08.5<br>Ш2700.06.624 |
| 2. Защита присоединений 6-35 кВ                         | СИРИУС-МЛ  | REC-650<br>REC-670            | 7SJ80<br>7SC80<br>7SJ61<br>7SJ62         | Sepam-40<br>Sepam-80<br>MiCOM P13x<br>MiCOM P14x | БМРЗ-ЛТ       | Ш2500.06.517                              |
| 3. АВР  | СИРИУС-АВР   | -                             | -  | -  | БМРЗ-БАВР     | Ш2500.11.50                               |
| 4. Защита трансформаторов напряжения                    | СИРИУС-ТН  | -                             | -  | -  | БМРЗ-ТД       | -   |
| 5. Защита ввода   | СИРИУС-2В<br>СИРИУС-2ВБ                              | REC-650<br>REC-670            | 7SJ63<br>7SJ64                           | Sepam-40<br>Sepam-80                             | БМРЗ-ЛТ       | -   |
| 6. Защита шин и ошиновок                                | СИРИУС-3-ДЗШ<br>СИРИУС-3-ДШО                         | REB-500<br>REB-650<br>REB-670 | 7SS52<br>7SS60                           | MiCOM P72x<br>MiCOM P746<br>MiCOM P740           | БМРЗ-ДЗШ      | Ш2600.10.51                               |
| 7. Защита линий 110-220 кВ                              | СИРИУС-3-ДФЗ-01<br>СИРИУС-3-ДЗЛ-01<br>СИРИУС-3-ВЧ-01 | RED-670<br>REL-650<br>REL-670 | 7SD80<br>7SD610<br>7SD52<br>7SD53        | MiCOM P521                                       | БМРЗ-ЛТ       | Ш2600.05.52                               |
| 8. Защита синхронных и асинхронных двигателей           | СИРИУС-Д<br>СИРИУС-21-Д                              | -                             | 7RW80<br>7SK80<br>7UM61<br>7UM62<br>7VE6 | MiCOM P22x<br>MiCOM P24x                         | БМРЗ-УЗД      | Ш2100 14.51                               |
| 9. Защита высоковольтного выключателя 110-220 кВ        | СИРИУС-УВ<br>СИРИУС-3-УВ                             | REQ-650                       | -  | Sepam-60   | БМРЗ-БНЗ      | Ш2600.06.5                                |
| 10. Управление секционным выключателем                  | СИРИУС-2-С<br>СИРИУС-21-С                            | -                             | -  | Easergy<br>SEPAM P3                              | БМРЗ-БНЗ      | Ш2500.11.50                               |

Одной из крупнейших производителей микропроцессорных блоков с собственной разработкой является АО «Радиус Автоматика», которая производит устройства релейной защиты, покрывающей почти весь спектр необходимого для подстанционного оборудования. В эти устройства входят серии «Сириус», «Сириус-2», «Сириус-3».

Применяемые схематические решения позволяют повысить надежность самих микропроцессорных блоков, а применяемые решения позволяют использовать их в составе современных цифровых подстанций и сетях SmartGrid.

Дополнительные устройства РЗА производства «Радиус Автоматика» (таб.9):

Таблица 9. Перечень всех защит Радиус Автоматика

|              |  |
|--------------|--|
| Сириус-Т     | Защита двухобмоточного трансформатора  |
| Сириус-УВ    | Защита и управление выключателем 35, 110, 220 кВ                                     |
| Сириус-2-Л   | Защита присоединений   |
| Сириус-2-МЛ  | Защита присоединений 3-35 кВ   |
| Сириус-2-В   | Защита ввода 3-35 кВ   |
| Сириус-2-С   | Автоматика секционного выключателя 3-35 кВ   |
| Орион-РТЗ    | Микропроцессорная автоматика управления присоединением с дешунтированием             |
| Сириус-ТЗ    | Защита трехобмоточного трансформатора 35 – 220 кВ                                    |
| Сириус-2-РН  | Управление и защита устройством РПН 3 – 500 кВ                                       |
| Сириус-3-ДЗО | Микропроцессорная защита с функциями дифф. защит трансформатора (автотрансформатора) |
| Сириус-2-ЛВ  | Защита трансформатора и выключателя до 220 кВ  |
| Сириус-ААРТ  | Устройство автоматической аварийной разгрузки трансформатора                         |
| Сириус-3-ДЗШ | Защита сборных шин от всех видов замыканий   |
| Сириус-2-ДЗМ | Защита магистральных линий   |
| Сириус-ДЗО   | Защита ошиновок  |

|              |  |
|--------------|--|
| Сириус-3-ВЧ  | Защита воздушных и кабельных линий с эффективно заземленной нейтралью                  |
| Сириус-3-ДФЗ | Дифференциально-фазная защита кабельных и воздушных линий                              |
| Сириус-2-ДЗЛ | Дифференциально-токовая защита смешанных кабельно-воздушных линий                      |
| Сириус-2-БСК | Защита батарей статических конденсаторов   |
| Сириус-ТН    | Контроль и защита трансформаторов напряжения   |
| Сириус-АВР   | Автоматический ввод резерва  |
| Сириус-Д     | Защита и автоматика управления синхронных и асинхронных двигателей напряжением 3-35 кВ |
| Сириус-ДЗ    | Защита линий с компенсированной нейтралью  |
| Сириус-ОЗЗ   | Устройство определения однофазного замыкания на землю                                  |
| Сириус-2-РЧН | Автоматика аварийного ограничения снижения напряжения и частоты                        |
| Сириус-2-АЧР | Устройство автоматической частотной разгрузки  |
| Сириус-2-ЦС  | Блоки центральной сигнализации   |
| Орион-ДЗ     | Устройства дуговой защиты  |
| Сириус-3-ГС  | Защита генераторов до 160 МВт  |

Известнейшими предприятиями ЭКРА и ЧЭМЗ изготавливаются готовые комплекты, поставляемые для ГЩУ станций и подстанций. Шкафы с устройствами представляют собой металлоконструкцию с размещенными на ней элементами схем. Шкафы предназначены как для одностороннего, так и для двухстороннего обслуживания. На передней двери шкафов расположены аппараты оперативного управления и сигнальные элементы. Терминалы расположены на плите за передней дверью (для типоразмера с односторонним обслуживанием) и на двери (для типоразмера с двухсторонним обслуживанием).

Металлоконструкция шкафов должна быть надежно заземлена. Внутри шкафов предусмотрена заземляющая пластина.

Подвод кабелей предусмотрен через отверстия в днище шкафов. Присоединение шкафов к внешним цепям осуществляется на рядах

зажимов, которые устанавливаются вертикально. Ряды контактных зажимов предназначены для присоединения одного или двух проводников с суммарным сечением до 6 квадратных мм включительно. Контакты соединения шкафов соответствуют 2 классу по ГОСТ 10434. Ряды зажимов шкафов выполнены с учетом требований «Правил устройства электроустановок», раздел III-4-15.

ЭКРА изготавливает шкафы микропроцессорных устройств защиты и автоматики (МП РЗА) для электростанций мощностью 6 - 1200 МВт и подстанций напряжением 6 - 750 кВ, шкафы противоаварийной автоматики, АСУ ТП подстанций, щиты собственных нужд 0,4 кВ, щитовые устройства не типовых низковольтные комплектные устройства (НКУ) и шкафы систем связи. ЭКРА изготавливает также устройства систем оперативного постоянного тока, устройства систем плавного пуска и регулирования скорости (СПП) высоковольтных электродвигателей напряжением 3, 6, 10, 15 кВ, устройства преобразователей частоты и цифровые статические тиристорные возбудители.

С небольшим стажем работает предприятие НПП «Мехатроника», выпускающая блоки интеллектуальных микропроцессорных защит БМРЗ, БМРЗ-50, БМРЗ-100, БМРЗ-150. Устройства серии БМРЗ выполнены на базе модульной конструкции, реализующие функции релейной защиты и автоматики в сетях напряжением от 6 до 220 кВ для следующих видов присоединений:

- турбогенераторы и гидрогенераторы, дизель - генераторы, газопоршневые генераторы;
- синхронные и асинхронные электрические двигатели любой мощности;
- двухскоростные электрические двигатели;
- двухобмоточные и трехобмоточные трансформаторы, автотрансформаторы с высшим напряжением до 220 кВ;

- сборные шины и ошиновка подстанций напряжением 35-220 кВ;
- воздушные и кабельные линии напряжением 110-220 кВ;
- устройства компенсации реактивной мощности напряжением 110-220 кВ.

Отдельным костяком стоят устройства дуговой защиты. Их конструкции были самыми разнообразными – от подвижной крышки-клапана с концевым выключателем над защищаемым объектом и нитевидной лески, натянутой вдоль ячейки, до оптических датчиков и оптических линий.

Дуговые замыкания в электроустановках относятся к наиболее серьезным повреждениям в электрических сетях. Разрушительное воздействие дуги несет в себе опасность для жизни и здоровья обслуживающего персонала, дорогостоящий ремонт или полную замену оборудования КРУ, длительные перерывы в электроснабжении.

Комплекс дуговой защиты обеспечивает надежную быстродействующую селективную защиту от дуговых замыканий.

Согласно существующим директивным и нормативным документам комплектные распределительные устройства 6-10 кВ должны иметь быстродействующую защиту от дуговых коротких замыканий внутри шкафов КРУ. Комплекс оптической дуговой защиты отвечает самым высоким требованиям и обеспечивает надежную быстродействующую селективную защиту от дуговых замыканий.

Распределенно-централизованная структура комплекса защиты обеспечивает защиту неограниченного количества ячеек, легко изменяется при реконструкции распределительного устройства.

Самыми распространенными являются комплексы дуговой защиты «ДУГА-МТ» производства НПП «Мехатроника» и «ОВОД-МД» производства НПП «ПроЭл».

Комплекс ДУГА-МТ (рисунок 9) предназначен для:

- ликвидации дугового замыкания и минимизации или исключения разрушений в ячейках и секциях распределительных устройств (РУ);
- защиты обслуживающего персонала от травм и повреждений, вызванных открытой электрической дугой;
- сокращения времени обнаружения места возникновения дугового замыкания;
- снижения затрат, связанных с нарушением электроснабжения.

В Устройстве могут быть использованы Датчики следующих типов:

- волоконно-оптические датчики;
- фототиристорные датчики;
- фототранзисторные датчики;
- клапанные датчики давления.

Комплекс дуговой защиты ДУГА-МТ может быть организован с применением центрального блока ДУГА-БЦ или без него. В случае отсутствия центрального блока, сигналы от регистраторов дуговых замыканий должны принимать устройства релейной защиты присоединений.

Использование центрального блока ДУГА-БЦ упрощает организацию вторичных цепей, делает систему независимой и более надежной, повышает функциональность.

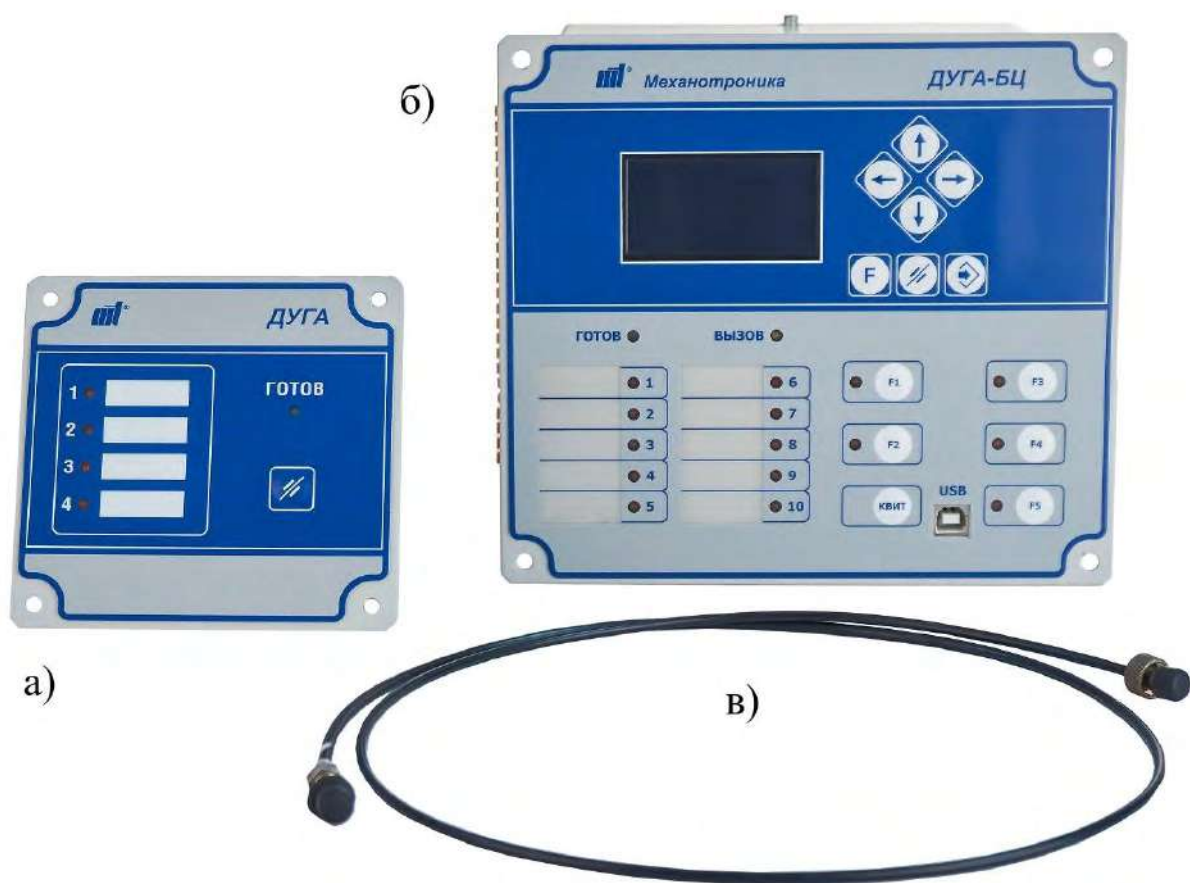


Рисунок 10. Общий вид комплекса ДУГА-МТ,  
 а) ДУГА-О – регистратор дуговых замыканий;  
 б) ДУГА-БЦ – блок центральной сигнализации и управления дуговой защитой; в) ВОД – волоконно оптический датчик.

Комплекс ОВОД-МД схож по принципу работы, но имеет отличия по конструкции датчиков и фиксируемых диапазонов излучения.

Устройство дуговой защиты "ОВОД-МД" предназначено для защиты ячеек КРУ электрических подстанций 0,4 - 35 кВ от дуговых замыканий, сопровождающихся открытой электрической дугой.

Для обнаружения дугового разряда в устройстве используются волоконно-оптические датчики (ВОД), изображенные на рисунке 11. Световой поток дугового разряда, собранный ВОД, поступает в блоки оптоэлектронного преобразования и в конечном итоге трансформируется в замыкание/размыкание сухих контактов выходных реле УДЗ в соответствии с логикой работы устройства.



Конструкция ВОД позволяет также реализовать непрерывную автоматическую проверку целостности волоконно-оптического кабеля датчика.

Световой поток дугового разряда принимается в ближнем инфракрасном диапазоне, что обеспечивает функционирование ВОД даже в том случае, если их линзы покрываются слоем пыли или сажи. Последнее обстоятельство, а также широкий угол захвата излучения линзой ВОД исключает проведение регламентных работ, связанных с чисткой линз датчиков.

Линза предназначена для ввода излучения в волоконно-оптический кабель и формированию спектра пропускания ВОД преимущественно в ближнем инфракрасном диапазоне.

Волоконно-оптический кабель состоит из двух "жил", одна из которых предназначена для передачи тестирующего светового импульса от блоков оптоэлектронного преобразования к линзе, а вторая для передачи на вход блоков оптоэлектронного преобразования излучения, собранного линзой извне и для передачи отраженного от внутренней поверхности линзы тестирующего светового импульса.

Оптические коннекторы предназначены для подключения ВОД к блокам оптоэлектронного преобразования.



Рисунок 11. Конструкция ВОД комплекса ОВОД-МД

### Особенности комплекса дуговой защиты ОВОД-МД:

- встроенный контроль работоспособности устройства в процессе монтажных и пуско-наладочных работ;
- непрерывный мониторинг состояния оптоэлектронного тракта вплоть до цепей, формирующих сигнал отключения;
- защита вводного выключателя;
- формирование сигналов «Запрет АВР» и «Запрет АПВ»;
- возможность отключения линейного выключателя;
- только линзы ВОД находятся в зоне действия дугового разряда, а само устройство (оптоэлектронный блок) располагается в релейном отсеке КРУ или в любом другом месте релейного зала;

Оба комплекса поставляются заказчику в виде собранного малого шкафа для установки в релейный отсек (рисунок 12).



Рисунок 12. Общий вид блока дуговой защиты

## 14. Терминалы SEPAM 20

В этой главе будут рассмотрены терминалы микропроцессорной (МП) защиты электрических сетей Sepam 1000 + 20 серии, производства компании Schneider Electric, описание экспертного человеко-машинного интерфейса, создаваемого программой SFT 2841 на персональном компьютере и используемого для реализации всех функций параметрирования, местного управления и индивидуализации Sepam 1000+ [14;15]. Также приводится описание основных возможностей программы SFT 2826, предназначенной для графического отображения и анализа осциллограмм аварийных режимов, записанных терминалом Sepam.

### **Программа SFT 2841.**

Sepam 1000+ имеет два вида интерфейса для вывода и ввода информации:

- стандартный аналоговый интерфейс, в основном предназначенный для установки в места без постоянного нахождения обслуживающего персонала, управляемый дистанционно через телеуправление;
- Модернизированный интерфейс с выводом информации на встроенный многоцветный жидкокристаллический экран и клавиатурой для параметрирования местным обслуживающим персоналом.

Также основным и самым полным интерфейсом является связь терминала с персональным компьютером с установленной программой SFT 2841. Данная программа позволяет наиболее полно конфигурировать терминал и диагностировать его в реальном времени. Для связи используется порт RS-232, расположенный на передней панели терминала.

На рисунке 13 показан вид окна первоначальной конфигурации программы.



Рисунок 13. Окно первоначальной конфигурации программы

На данном этапе пользователь выбирает необходимый язык интерфейса (английский, русский, французский или немецкий), серию терминалов (серия 20, 40, 80) и тип подключения. Это может быть прямое подключение ПК к порту RS-232 с передней панели терминала (1), или подсоединение ПК к Seram через сеть устройств, объединенную протоколом RS-485 (2). При работе программе автономно – без подключения к терминалу можно подготовить файл для Seram содержащий все основные настройки и характеристики, необходимые для применения терминала серии 20, 40 или 80. Далее этот файл может быть загружен в Seram при подключении.

При выборе фронтального подключения программа проверяет соединение и считывает сигнатуры терминала и основные настройки. После завершения данных процедур SFT 2841, имеющее графический интерфейс,

характерный для классической системы Windows. На экране видны следующие элементы управления программой:

- Зона заголовка с названием приложения, идентификацией отображенного документа Seram и кнопками управления окном;
- Главное меню для доступа ко всем функциям программного обеспечения SFT 2841;
- Панель инструментов, содержащая набор пиктограмм для быстрого доступа к основным функциям (которые также доступны через главное меню);
- Рабочая зона пользователя с закладками экранов настройки терминала;
- Панель состояния с информацией, касающейся активного документа.

Рассмотрим более подробно функции пиктограмм, находящихся в панели инструментов (см. рис 14) не имеется:

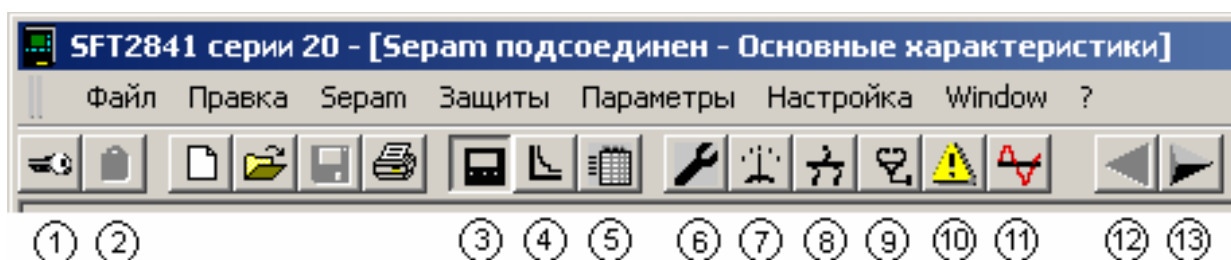


Рисунок 14. Панель инструментов

1 – Окно ввода пароля. Ввод пароля позволяет изменять настройки и параметры терминала, без его ввода работа с Seram возможна исключительно в режиме «Только чтение». Спустя пять минут доступ к терминалу сбрасывается, поэтому будет предложено ввести пароль заново.

2 – Возврат в рабочий режим. Выполняет выход из режима параметрирования.

3 – Основные характеристики

4 – Защиты

- 5 – Матрица управления
- 6 – Диагностика Seram (Operations)
- 7 – Измерения
- 8 – Диагностика сети
- 9 – Диагностика выключателя
- 10 – Сообщения
- 11 – Запись осциллограмм
- 12,13 – Предыдущий/Следующий экран

Пиктограммы 3 – 11 вызывают на рабочую область пользователя соответствующие экраны параметрирования, регулировки и отображения состояния терминала. При настройке Seram может осуществляться или последовательный переход от одного экрана к другому (пиктограммы 12 и 13), или непосредственно вызов нужных экранов.

### **Экраны SFT 2841**

Рассмотрим наиболее важные экраны SFT 2741 параметрирования и отображения состояния терминала.

#### *1. Конфигурирование Seram.*

На данном этапе необходимо указать тип терминала (Seram 1), назначение (Подстанция S20), модель Seram (UD – улучшенный интерфейс с интегрированным ЖК-экраном), а также наименования дополнительных модулей, используемых в 3 терминале (MES 114). В скобках указаны особенности конфигурации терминала.

#### *2. Настройки (рис. 15).*

На этом экране отображены следующие настройки:

а) Контроль цепи управления (Да/Нет). Данная настройка переводит терминал в режим работы «На сигнал». Если выбрать «Нет», то при КЗ в защищаемой зоне защита будет работать только на сигнал и контакты выходных реле не сработают. Иначе, к срабатыванию сигнализации добавляется управляющее воздействие на выключатель.

- б) Контроль цепи управления без защит. Режим позволяет выводить из работы некоторые защиты, для этого необходимо выделить их.
- в) Логическая селективность (Да/Нет). В зависимости от наличия сигнала на входе  $I_{13}$  выбирается активная группа уставок МТЗ и ТЗНП. При наличии сигнала активируется группа А, при его отсутствии – группа В.
- г) Назначение логических входов. Данная настройка позволяет менять назначения логических входов терминала. Некоторые входы жестко закреплены за определенными сигналами. Например, входы  $I_{11}$  и  $I_{12}$  закреплены за сигналами от РПО и РПВ соответственно.
- д) Установка выходных реле. Необходим для ввода и вывода логических реле и типа их контактов (замыкающий, размыкающий или мгновенный).

Пароли      Диагностика Seram      Состояние входов, выходов и лам      Состояние телесигналов

Конфигурирование Seram      **Настройки**      Основные характеристики      Логика управления

Настройка

Контроль цепи управления

☐ Нет

☒ Да

Контроль цепи управления без защит

☐ 50/51 - 1А

☐ 50/51 - 1В

☐ 50/51 - 2А

☐ 50/51 - 2В

☒ 50N/51N - 1А

☒ 50N/51N - 1В

☒ 50N/51N - 2А

☒ 50N/51N - 2В

☒ 46

Логическая селективность

☒ Нет

☐ Да

Назначение логических входов

I11

I12

I13

I14

I21

I22

I23

I24

I25

I26

Установка выходных реле      Применить      Отмена

Рисунок 15. Настройки программы работы с терминалом



### 3. Основные характеристики.

Рисунок 16. Настройка основных характеристик

На этом экране (рис. 16) устанавливаются следующие характеристики терминала:

а) Установка номинальных параметров трансформаторов тока (ТТ).

- Номинал ТТ (ТС 1А или ТС 5А) – номинальный вторичный ток ТТ;
- Число ТТ (I1, I2, I3 или I1, I3) – схема установки ТТ – в трех или в двух фазах;
- Номинальный ток – первичный номинальный ток ТТ;
- Базовый ток – используется для расчета времени срабатывания максимальной токовой защиты обратной последовательности с зависимой выдержкой времени;
- Ток нулевой последовательности (Сумма 3I и др.) – выбор способа вычисления тока нулевой последовательности.



- б) Выбор активной группы уставок (Группа А, Группа Б, Группы А и В и выбор по телеуправлению)
- в) Выбор частоты питающей сети (50 Гц или 60 Гц)
- г) Разрешение телеуправления (Да/Нет)
- д) Параметрирование записи осциллограмм. Здесь указывается количество периодов, записываемых терминалом до аварийного события.
- е) Рабочий язык Seram, а также время и дата Seram.
- ж) Редактирование сигнализации

#### 4. *Логика управления.*

| Пароли                                 |     | Диагностика Seram |    |    |    |    |     | Состояние входов, выходов и ламп |     |     |    |    |    | Состояние телесигналов |    |    |    |    |    |           |
|--|-----|-------------------|----|----|----|----|-----|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|------------------------|----|----|----|----|----|-----------|
| Конфигурирование Seram                 |     | Настройки         |    |    |    |    |     | Основные характеристики          |     |     |    |    |    | Логика управления      |    |    |    |    |    |           |
| Установка параметров логики управления |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  | ВКЛ | Удерж.            | 01 | 02 | 03 | 04 | 011 | 012                              | 013 | 014 | L1 | L2 | L3 | L4                     | L5 | L6 | L7 | L8 | L9 | Запись ос |
| 50/51-1                                | X   |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     | X  |    |    |                        |    |    |    |    | X  | X         |
| 50/51-2                                | X   |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    | X  |    |                        |    |    |    |    | X  | X         |
| 50N/51N-1                              |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    | X  |                        |    |    |    |    | X  | X         |
| 50N/51N-2                              |     | X                 |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    | X                      |    |    |    |    | X  | X         |
| 46                                     |     | X                 |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    | X  | X         |
| 79 Успешное АПВ                        |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
| 79 Неуспешное АПВ                      |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
| I11                                    | X   |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    | X  |    |    |           |
| I12                                    | X   |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    | X  |    |           |
| I13                                    |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
| I14                                    | X   |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
| I21                                    | X   |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
| I22                                    |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
| I23                                    |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
| I24                                    |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
| I25                                    |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
| I26                                    |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
| TCS                                    | X   |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
| Повр. цепи упр.                        | X   |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
| Запуск защит                           | X   |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    | X         |
| Готовность SERAM                       | X   |                   |    |    |    |    | X   |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |
|  |     |                   |    |    |    |    |     |                                  |     |     |    |    |    |                        |    |    |    |    |    |           |

Рисунок 17. Настройка логики работы терминала

На данном экране (рис. 17) представлена таблица, в которой отображена связь защит и АПВ (строки) терминала с выходными реле, сигнальными лампами и пуском осциллографирования аварийного процесса (столбцы). Знак «X» в клетке указывает на то, что защита из соответствующей строки действует на выходное реле или лампу

соответствующего столбца. Цвет строк говорит о состоянии защиты: белый – введена в работу, красный – выведена. Столбцы серого цвета означают, что все защиты по умолчанию действуют на соответствующее выходное реле (O1 – сигнал от действия защит на отключение Q1, O4 – сигнал от АПВ на включение Q1). Черные строки говорят об отсутствии доступа в данном режиме. Также из этого экрана возможен выход в окно редактирования назначения ламп.

#### 5. Состояние входов, выходов и ламп (рис. 18).

На этом экране в реальном времени отображаются состояния выходных реле, наличие сигналов на логических входах терминала, а также состояния сигнальных ламп, расположенных на передней панели терминала

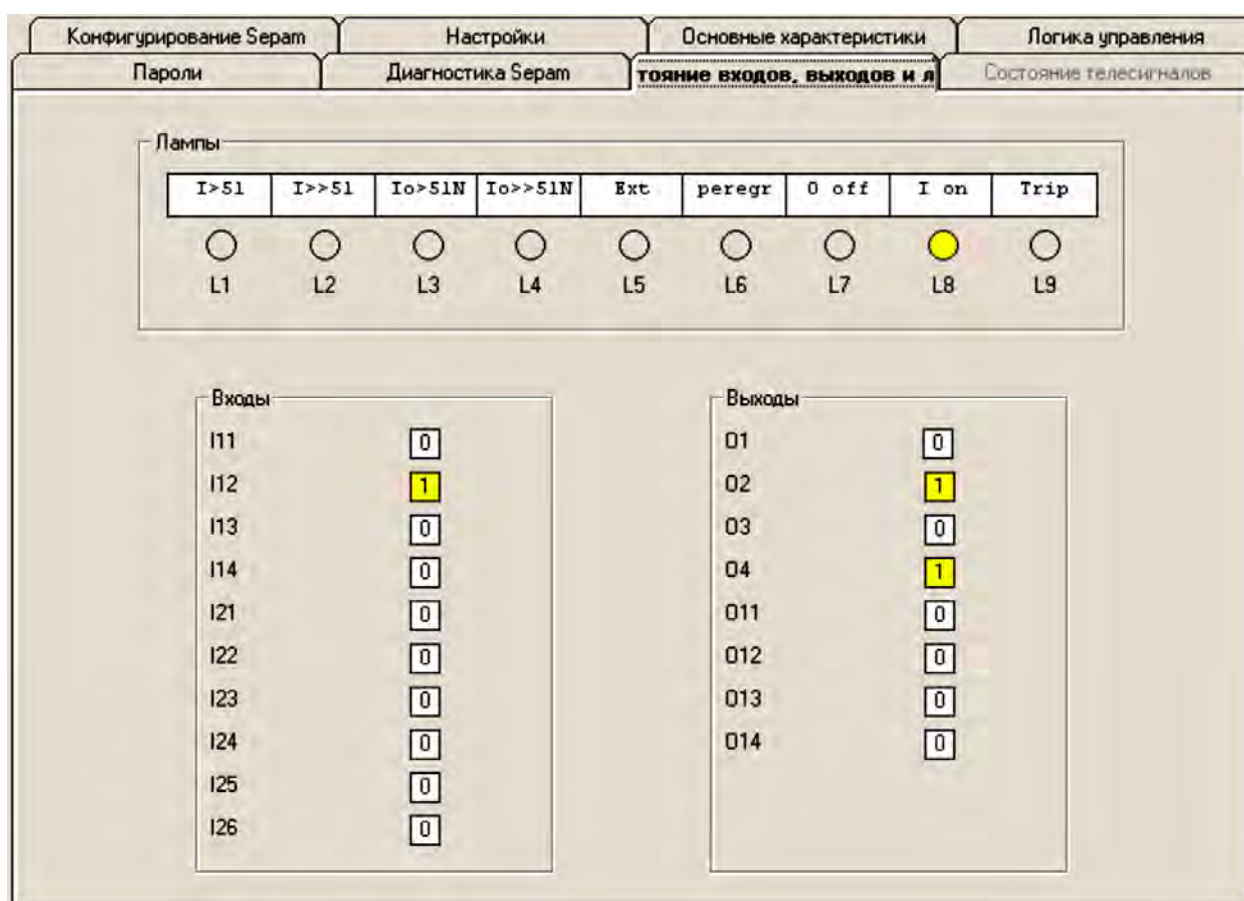


Рисунок 18. Состояние входов и выходов терминала

## Защиты.

Терминал Seram 1000+ S20 содержит следующие виды РЗ и автоматики:

- Четыре ступени токовой защиты от междуфазных КЗ с регулируемым временем возврата КА, с переключением активных групп уставок и логической селективностью;
- Четыре ступени токовой защиты от замыканий на землю – 50N/51N.;
- Максимальная токовая защита обратной последовательности / небаланс;
- Автоматическое повторное включение (максимум 4 цикла).

Рассмотрим экраны SFT 2841, которые используются для настройки защит и автоматики, и задания уставок.

### 1. Токовая защита от междуфазных КЗ - 50/51 – 1.

50/51-1 50/51-2 50N/51N-1 50N/51N-2 46 79

MTЗ в фазах [1]

Ввод защит

☐ откл

☒ вкл

Группа А (Активная группа)

Кривая отключения Независимая

Уставка тока 205 A

Выдержка времени 500 мс

Хар. таймера удерж. Независимая

Вид. времени удерж. 0 мс

Группа В (Активная группа)

Кривая отключения Независимая

Уставка тока 353 A

Выдержка времени 100 мс

Хар. таймера удерж. Независимая

Вид. времени удерж. 0 мс

Поведение при отключении

|         | ВКЛ | Удерж. | 01 | 02 | 03 | 04 | 011 | 012 | 013 | 014 | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L6 | L7 | L8 | L9 | Запись осцил. | Сообщен |
|---------|-----|--------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------------|---------|
| 50/51-1 | X   |        |    |    |    |    |     | X   |     |     | X  |    |    |    |    |    |    |    | X  |               | PHASE F |

Редактирование назначения ламп

Применить Отмена

Рисунок 19. Настройка токовой защиты

Экран предназначен для задания уставок двух ступеней токовой защиты от МФ КЗ – 1А и 1В (рис. 19).

а) Ввод защит (вкл/откл) – ввод защит в работу

б) Группа А (или Б):

Кривая отключения – вид зависимости  $t_{сз} = f(I_{кз})$  (независимая и др.)

Уставка тока, выдержка времени

Характеристика таймера удержания

Выдержка времени удержания

Для 50/51 – 2 и 50N/51N – 1,2 настройки аналогичные. Имеется возможность редактирования назначения ламп.

*2. Максимальная токовая защита обратной последовательности / небаланс.*

а) Ввод защит (вкл/откл) – ввод защит в работу

б) Настройка:

- Выбор кривой - вид зависимости  $t_{сз} = f(I_{кз})$  (независимая и др.)
- Выдержка времени
- Уставка тока в процентах от базового тока

*3. Автоматическое повторное включение.*

Предназначен для задания уставок АПВ (рис. 20).

а) Состояние (Вкл/откл) – ввод в работу

б) Число циклов АПВ (от 1 до 4) – выбор количества циклов АПВ

в) Блокировка по входу I26 (Да/Нет) – блокировка функции АПВ от внешнего сигнала, подаваемого на логический вход I26.

г) Активация циклов АПВ:

Таблица: Строки – защиты, после срабатывания которых возможно АПВ, столбцы – циклы АПВ. На пересечении строки и столбца выбирается тип АПВ:

- С выдержкой – РЗ работает без ускорения и АПВ происходит через время, указанное в графе «Выдержка времени восстановления изоляции цикла»
- Мгновенный – РЗ работает с ускорением до АПВ.

- Неактивный – после срабатывания данной защиты и отключения Q1 АПВ не производится.

д) Выдержки времени.

При однократном АПВ задаются 3 выдержки времени: Выдержка времени выделения, Блокировка выдержки времени, Выдержка времени восстановления изоляции цикла 1. Для их объяснения рассмотрим цикл, в котором присутствует неустранимое КЗ. После отключения КЗ защитой запускается выдержка времени восстановления изоляции цикла 1. По окончании этой выдержки времени дается команда на включение выключателя Q1, и эта команда запускает выдержку времени выделения. В случае, если защита обнаружит повреждение до окончания этой выдержки, дается команда на отключение и активизируется следующий цикл АПВ. Если выключатель включается на КЗ и, если до окончания времени выдержки проявляются признаки КЗ, АПВ цикла блокируется.

| Защита      | Цикл 1      | Цикл 2, 3 и 4 |
|-------------|-------------|---------------|
| 50/51 - 1   | С выдержкой |               |
| 50/51 - 2   | С выдержкой |               |
| 50N/51N - 1 |             |               |
| 50N/51N - 2 |             |               |

| Выдержки времени                   |      |
|------------------------------------|------|
| Выдержка времени выделения         | 10 с |
| Блокировка выдержки времени        | 5 с  |
| Выд. врем. восст. изоляции цикла 1 | 2 с  |
| Выд. врем. восст. изоляции цикла 2 | 0 мс |
| Выд. врем. восст. изоляции цикла 3 | 0 мс |
| Выд. врем. восст. изоляции цикла 4 | 0 мс |

Рисунок 20. Настройка АПВ и его циклов



### *Измерения, диагностика и запись осциллограмм.*

Рассмотрим экраны SFT 2841, предназначенные для отображения значений измеряемых терминалом величин, диагностики сети и выключателя, экраны аварийных сообщений, а также экран для считывания аварийных осциллограмм.

#### *1. Измерения.*

В терминал встроена возможность измерения действующих фазных токов (рис. 21), средние и пиковые значения токов в фазах за период, а также ток нулевой последовательности. Присутствует возможность обнуления средних и пиковых значений.

#### *2. Диагностика сети.*

На этом экране отображаются измеряемые терминалом токи отключения в фазах, а также ток небаланса, выраженный в процентах от базового тока.

#### *3. Диагностика выключателя.*

Здесь возможно просмотреть кумулятивные токи, отключенные выключателем, число коммутаций, время срабатывания и контроль цепи управления выключателем.

#### *4. Аварийные сообщения и хронология аварийных сообщений.*

На экране аварийных сообщений (рис. 22) отображается состояние сигнальных ламп на передней панели терминала, а также информация обо всех аварийных сообщениях в виде таблицы, которая имеет следующие столбцы: дата, время, реле, группа уставок, сообщение, дополнительная информация.

На экране хронологии аварийных сообщений идет перечисление всех аварийных событий в хронологическом порядке.



## 5. Запись осциллограмм.

Sepam автоматически записывает осциллограммы до и во время (рис. 23) аварийных ситуаций и хранит в памяти осциллограммы последних аварий. Для сохранения файла осциллограммы на ПК необходимо на вкладке «Запись осциллограмм» нажать на пиктограмму напротив интересующей осциллограммы и указать путь сохранения в открывающемся окне. По умолчанию она сохраняется в папке «SEPAМ». Проанализировать сохраненные ранее файлы можно автономно в программе. Присутствует возможность запуска записи осциллограммы по команде пользователя.

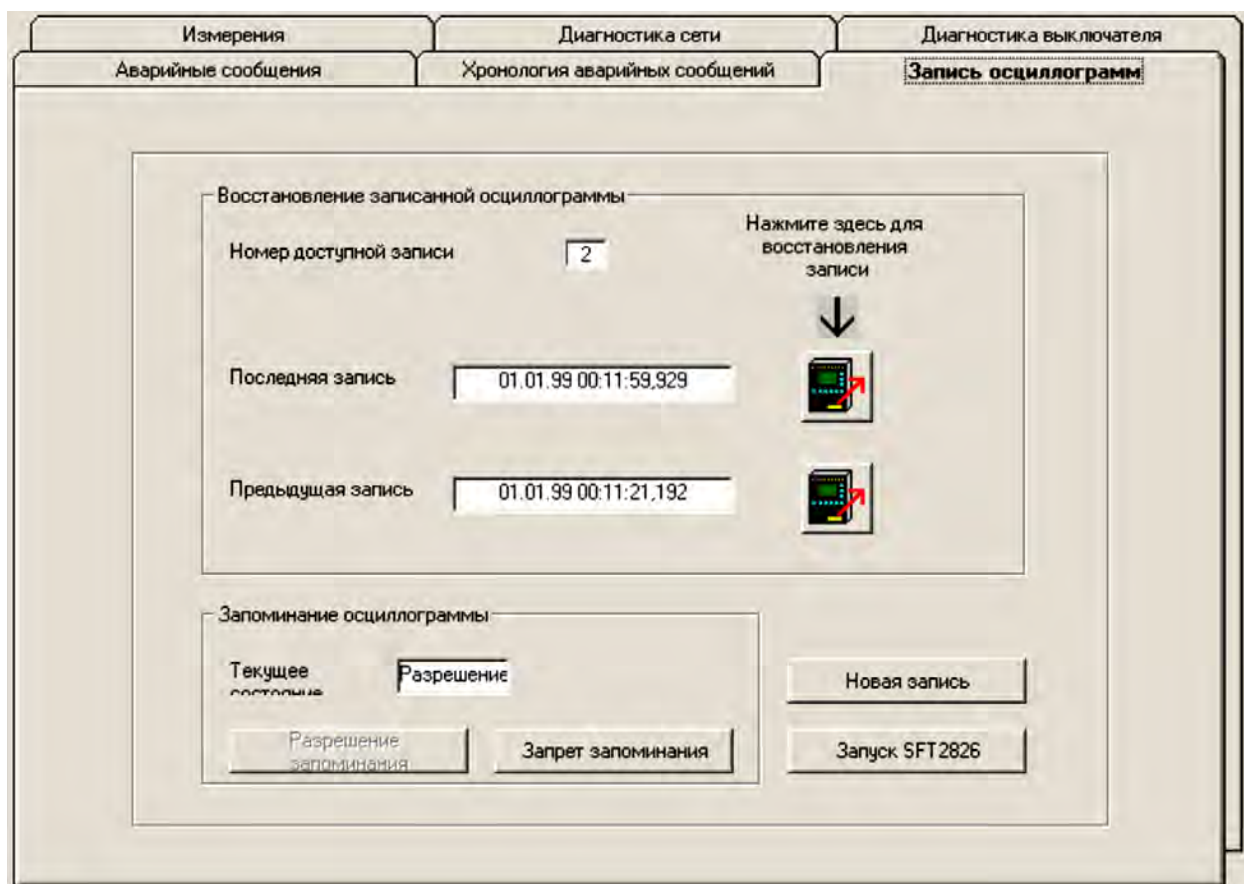


Рисунок 23. Запись осциллограмм

## Программа SFT 2826.

Программа содержит стандартный набор инструментов, позволяющих осуществлять расшифровку осциллограмм. На них



отображаются токи в фазах, ток нулевой последовательности, а также те дискретные сигналы, изменяющиеся во время записи осциллограммы (Пуск защиты Р<sub>и</sub>, состояние реле Q1, состояние лог. входов I11 и I12 – РПО и РПВ). Анализ осциллограммы в SFT 2826 схож с анализом осциллограмм в программе EWB. Две метки передвигаются по оси времени. Кнопка «Показать данные» открывает окно, отображающее мгновенные значения фазных токов, соответствующие положению метки, время от начала записи осциллограммы до метки, время от одной метки до другой и разность токов между второй и первой метками.

Внешний вид анализатора осциллограмм показан на рис. 24.

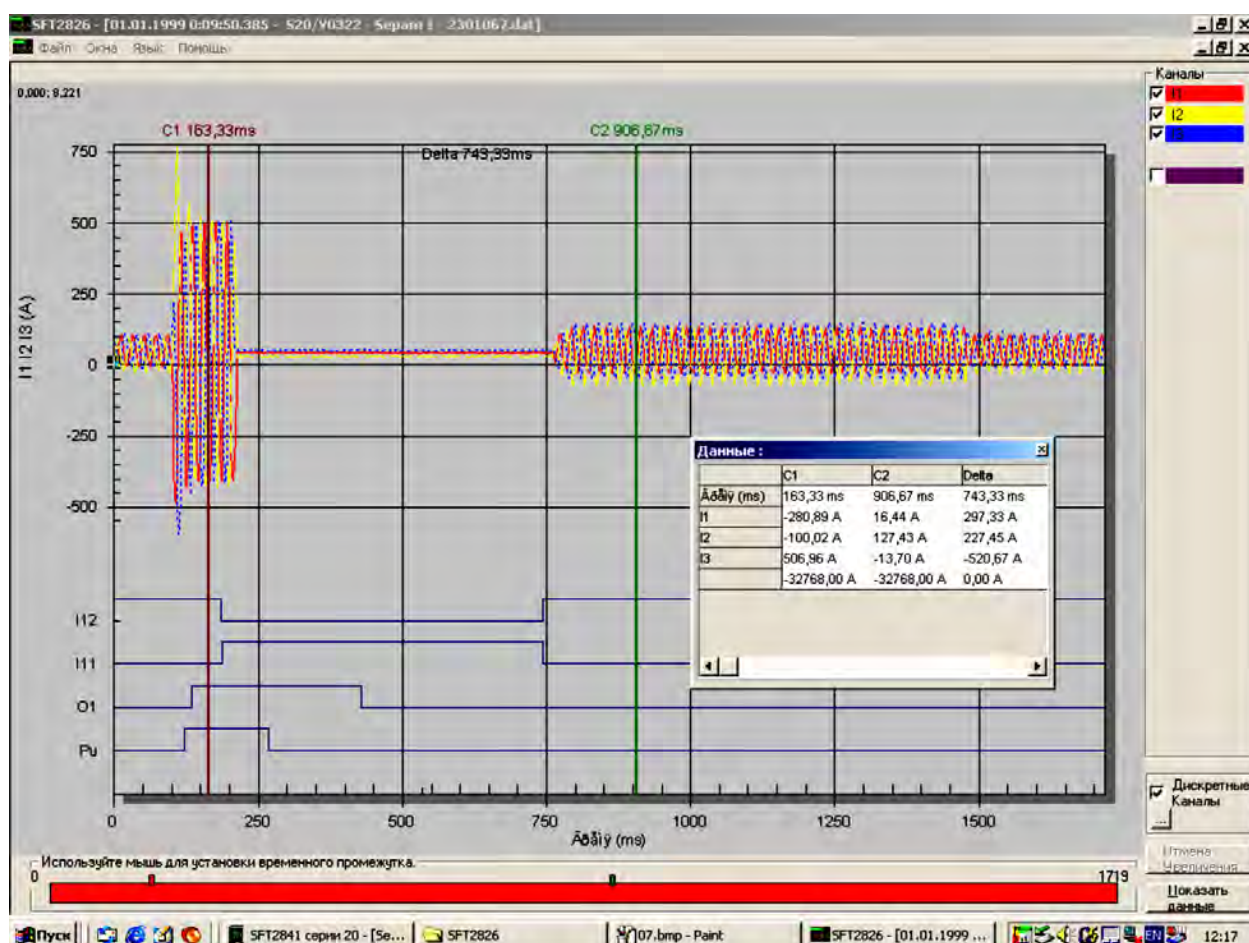


Рисунок 24. Внешний вид осциллограммы

## **15. Телемеханика, телеизмерение и телеуправление. ВЧ связь**

Автоматизация различных объектов производства в последние годы становится не просто желательным, а необходимым этапом. Системы автоматизации технологических процессов широко применяются в современной промышленности и позволяют снизить себестоимость продукции при неизменном её качестве. В связи с созданием автоматизированных систем управления (АСУ), особое внимание уделяется телемеханике[4].

Телемеханика (ТМ) – контроль и управление объектами на расстоянии с применением специализированных преобразований сигналов.

Система телемеханики предназначена для оперативного контроля и управления объектами энерго-, тепло- и водоснабжения и может применяться в промышленных электрических сетях и коммунальном хозяйстве. Эта система обеспечивает: непрерывный сбор и контроль информации о телесигнализации (ТС); телеизмерение текущих значений параметров (ТИ); телеизмерение интегральных значений параметров (ТИИ); телеуправление (ТУ) [8].

Шкаф ТМ является программируемым устройством и используется в качестве аппаратуры телемеханики в составе автоматизированной системы диспетчерского контроля и управления.

Передача данных должна осуществляться по каналам связи, обеспечивающим сбор и обмен данными по стандартным интерфейсам и протоколам обмена типа «запрос-ответ» в автоматическом и в автоматизированном (по запросу) режимах.

Каналы связи, предназначенные для передачи информации, должны обеспечивать устойчивые соединения между устройствами различных уровней автоматизированных систем.

Каналы связи должны обеспечивать работоспособное состояние в любой момент времени. Техническая реализация каналов связи и используемые протоколы передачи данных должны обеспечивать передачу данных расчетного учета с нижнего уровня на верхний с максимальной временной задержкой, не превышающей 50% от интервала сбора данных в автоматическом режиме.

При определении типов каналов связи в каждом конкретном случае следует исходить из территориального расположения субъектов и объектов учета и максимального использования собственных телекоммуникационных связей [4].

Необходимость резервного канала связи и выбор одного из каналов в качестве основного должны быть определены на этапе разработки проекта автоматизации сбора данных учета электроэнергии, исходя из цикла опроса и объема передаваемых данных.

Допускается использование сотовой мобильной связи в качестве основного канала связи в случаях отсутствия других каналов связи, обеспечивающих устойчивое соединение.

Для организации автоматизированного сбора данных на ПС 35-110 кВ трехфазные приборы учета электрической энергии должны быть оснащены двумя независимыми гальванически изолированными интерфейсами типа RS-485 или один RS-485 и один Ethernet, а также, опционально, - GSM, RF, RS-232, Ethernet или другими. Трехфазные приборы учета, устанавливаемые на ТП 10 (6) кВ, должны быть оснащены интерфейсами типа RS-485, PLC, RF, RS-232, Ethernet или другие.

Целями и задачами систем связи энергетических объектов (ТП, РП, ПС) 6-110 кВ являются:

- обеспечение энергообъектов каналами связи (основными и резервными) для обмена оперативной и не оперативной информацией

с ЦУС Сетевой организации и ДЦ Системного оператора, а также между технологически связанными с объектами;

- обеспечение объекта каналами связи для целей релейной защиты, противоаварийной автоматики, АСУТП, ТМ, системы учета электроэнергии, слаботочных технических средств охраны и наблюдения;
- обеспечение объекта каналами стационарной оперативно-диспетчерской голосовой телефонной связи «диспетчер - дежурный», «диспетчер - выездная ремонтная бригада»;
- обеспечение объекта каналом мобильной линейно-эксплуатационной связи «диспетчер - выездная ремонтная бригада», при подстанции без постоянного присутствия персонала;
- предоставление каналов связи для обмена диспетчерско-технологической информацией с диспетчерскими центрами управления.

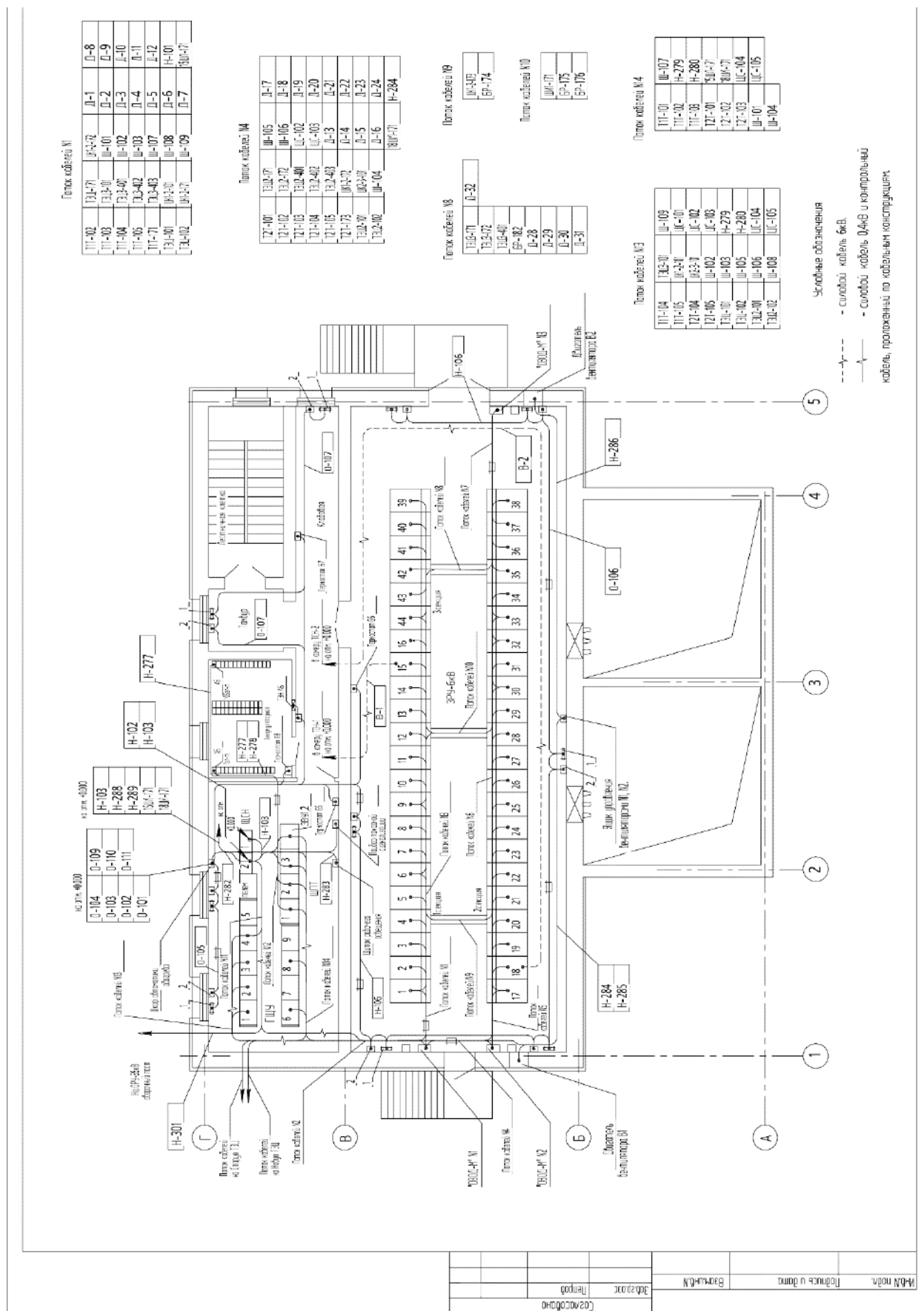
Необходимость в организации каналов связи для целей диспетчерского и технологического управления не нормируется. Организация каналов связи с таких объектов определяется частыми заданиями и требованиями заказчика.

При имеющейся необходимости, каналы связи организуются аналогично, как для подстанций 110 кВ и выше. Данные каналы могут использоваться для передачи телеметрической информации об электротехническом оборудовании, для передачи информации от охранных систем объекта и видеонаблюдения (при необходимости). Данные каналы могут быть организованы с использованием систем передачи по ВОЛС, PLC-технологии, беспроводных GSM и БШПД каналов. Данные каналы должны быть организованы (как правило) до ближайшего крупного узлового объекта (ПС 110 кВ и выше) на котором имеется возможность подключения к ведомственной сети связи электроэнергетики (или до объекта, на котором располагается диспетчерский пункт).

## 16. Примеры оформления проектных чертежей



Рисунок 15. Фасады панелей, щитов релейной защиты (общий вид)



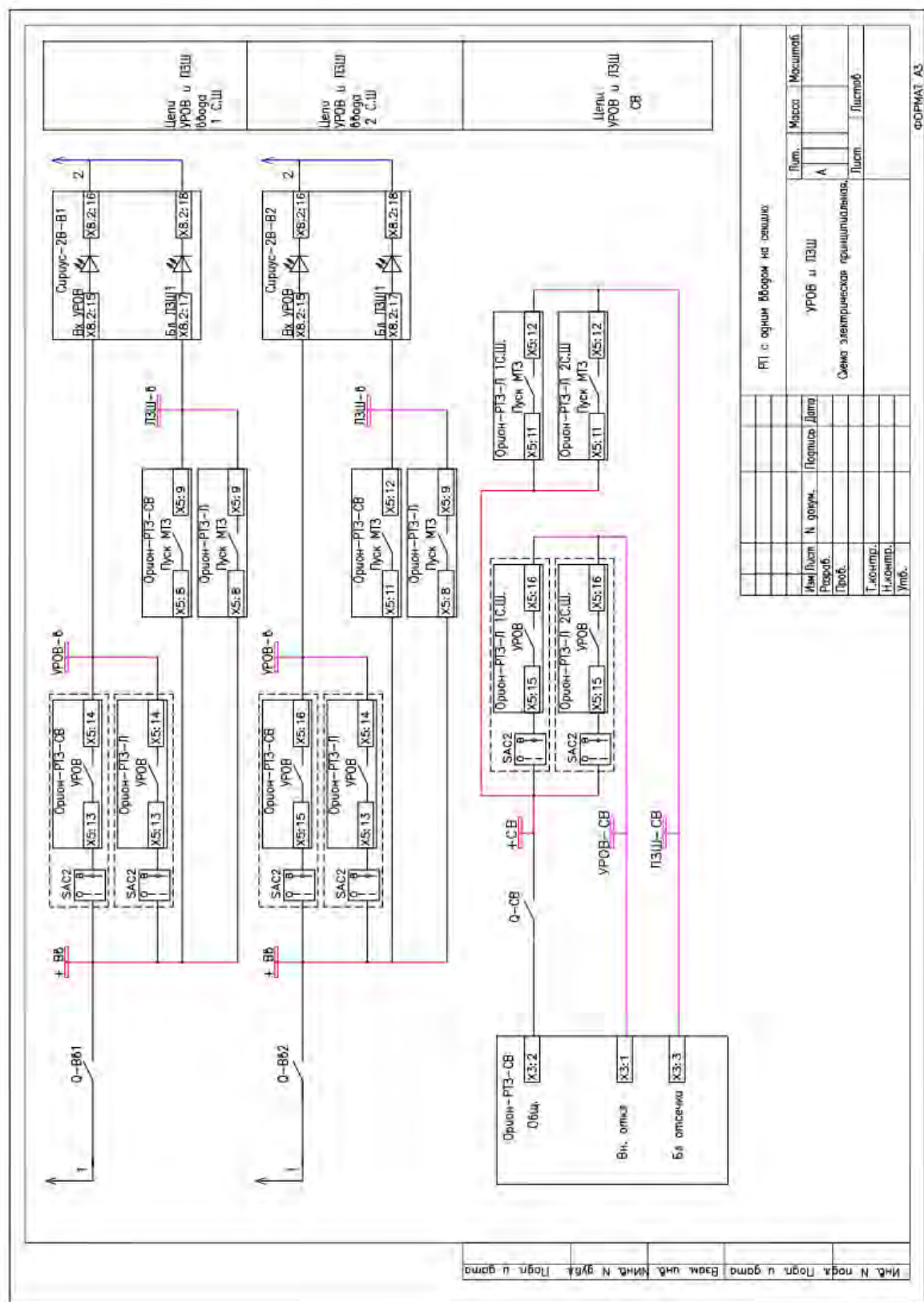
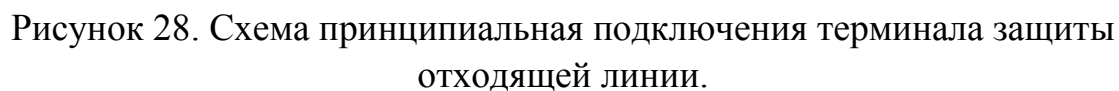


Рисунок 27. Схема подключения терминалов к устройствам управления выключателем.







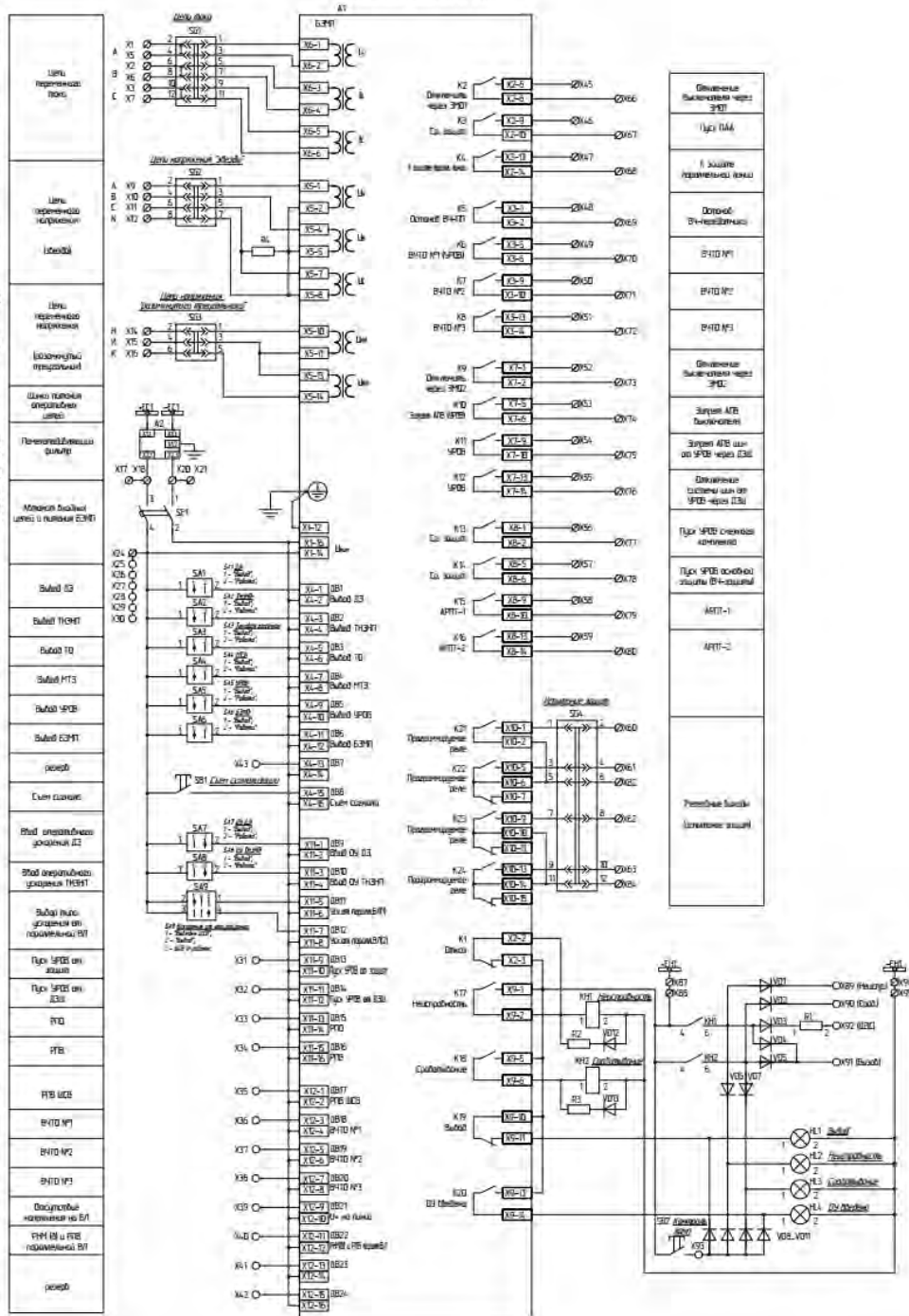
Ряд зажимов монтажной единицы 01

| Терминальные цепи      |     |     |          |
|------------------------|-----|-----|----------|
| A                      | ВН  | 1   | X1 SG1-2 |
| B                      | ВН  | 2   | X2 SG16  |
| C                      | ВН  | 3   | X3 SG10  |
|                        |     |     |          |
| A                      | КЛ  | 5   | X5 SG14  |
| B                      | КЛ  | 6   | X6 SG18  |
| C                      | КЛ  | 7   | X7 SG12  |
|                        |     |     |          |
| Цепи на отключение     |     |     |          |
| A                      |     | 9   | X9 SG22  |
| B                      |     | 10  | X10 SG24 |
| C                      |     | 11  | X11 SG26 |
|                        |     | 12  | X12 SG28 |
|                        |     | 13  |          |
| H                      |     | 14  | X14 SG32 |
| M                      |     | 15  | X15 SG34 |
| K                      |     | 16  | X16 SG36 |
| Цепи оперативного тока |     |     |          |
| AZ-X2.1                | X17 | 17  | X17 SF13 |
|                        |     | 18  | X18      |
|                        |     | 19  |          |
| A2X2.3                 | X20 | 20  | X20 SF11 |
|                        |     | 21  | X21      |
| A1X1-16                | 2   | 1   | X20      |
| A1X2-4/X24             | 4   | 3   | X17      |
|                        |     |     |          |
| Цепи бытовые           |     |     |          |
|                        |     | 22  |          |
|                        |     | 23  |          |
|                        |     |     |          |
| Цепи бытовые + ZTO B   |     |     |          |
|                        |     | 24  | X24 SF14 |
|                        |     | 25  | X25      |
|                        |     | 26  | X26      |
|                        |     | 27  | X27      |
|                        |     | 28  | X28      |
|                        |     | 29  | X29      |
|                        |     | 30  | X30      |
|                        |     |     |          |
| Выходные цепи          |     |     |          |
| УФВВ от щита           | 31  | X31 | A1X11-9  |
| УФВВ от щита           | 32  | X32 | A1X11-11 |
| РПД                    | 33  | X33 | A1X11-13 |
| РПВ                    | 34  | X34 | A1X11-15 |
| РПВ УСВ                | 35  | X35 | A1X12-1  |
| ВНТО №1                | 36  | X36 | A1X12-3  |
| ВНТО №2                | 37  | X37 | A1X12-5  |
| ВНТО №3                | 38  | X38 | A1X12-7  |
| УС на щите             | 39  | X39 | A1X12-9  |
| РПВ и РБ на щите       | 40  | X40 | A1X12-11 |
| ПБ23                   | 41  | X41 | A1X12-13 |
| ПБ24                   | 42  | X42 | A1X12-15 |
| ПБ7                    | 43  | X43 | A1X14-1  |
|                        | 44  |     |          |
|                        |     |     |          |
| Выходные цепи          |     |     |          |
| Выключатель            | 45  | X45 | A1X2-5   |
| Ср. э. щит             | 46  | X46 | A1X2-9   |
| А. э. щит              | 47  | X47 | A1X2-13  |
| Останков БЧ            | 48  | X48 | A1X2-15  |
| ВНТО №1                | 49  | X49 | A1X3-1   |
| ВНТО №2                | 50  | X50 | A1X3-3   |
| ВНТО №3                | 51  | X51 | A1X3-5   |
| Выключатель            | 52  | X52 | A1X7-1   |
| Защитный АТБ           | 53  | X53 | A1X7-5   |
| УФВВ                   | 54  | X54 | A1X7-9   |
| УФВВ                   | 55  | X55 | A1X7-13  |
| Ср. э. щит             | 56  | X56 | A1X8-1   |
| Ср. э. щит             | 57  | X57 | A1X8-5   |
| АРПТ-1                 | 58  | X58 | A1X8-9   |
| АРПТ-2                 | 59  | X59 | A1X8-13  |
| Реле К21               | 60  | X60 | SG4-2    |
| Реле К22               | 61  | X61 | SG4-4    |
| Реле К23               | 62  | X62 | SG4-8    |
| Реле К24               | 63  | X63 | SG4-10   |
|                        | 64  |     |          |
|                        | 65  |     |          |
|                        |     |     |          |
| Выходные цепи          |     |     |          |
| Ср. э. щит             | 66  | X66 | A1X2-6   |
| А. э. щит              | 67  | X67 | A1X2-10  |
| Останков БЧ            | 68  | X68 | A1X2-14  |
| ВНТО №1                | 69  | X69 | A1X3-2   |
| ВНТО №2                | 70  | X70 | A1X3-6   |
| ВНТО №3                | 71  | X71 | A1X3-10  |
| ВНТО №3                | 72  | X72 | A1X3-14  |
| Выключатель            | 73  | X73 | A1X7-2   |
| Защитный АТБ           | 74  | X74 | A1X7-6   |
| УФВВ                   | 75  | X75 | A1X7-10  |
| УФВВ                   | 76  | X76 | A1X7-14  |
| Ср. э. щит             | 77  | X77 | A1X8-2   |
| Ср. э. щит             | 78  | X78 | A1X8-6   |
| АРПТ-1                 | 79  | X79 | A1X8-10  |
| АРПТ-2                 | 80  | X80 | A1X8-14  |
|                        | 81  |     |          |
| Реле К21/X22           | 82  | X82 | SG4-6    |
|                        | 83  |     |          |
| Реле К23/X24           | 84  | X84 | SG4-12   |
|                        | 85  |     |          |
|                        | 86  |     |          |
|                        |     |     |          |
| Цепи сигнализации      |     |     |          |
| -ЕН1                   | 87  | X87 | A1X9-1   |
|                        | 88  | X88 | КН14     |
| Неисп.                 | 89  | X89 | УД1К     |
| Ср. э. щит             | 90  | X90 | УД2К     |
| Вызв.                  | 91  | X91 | УД3К     |
| Ш.З.                   | 92  | X92 | УД4К     |
| СБ2                    | X93 | 93  | X93 УД5А |
|                        | 94  | X94 |          |
| -ЕН1                   | 95  | X95 | НЛ2      |

Ряд зажимов монтажной единицы 00

| Цепи освещения |   |    |       |
|----------------|---|----|-------|
| -EL1           | 1 | X1 | EL1   |
| -EL2           | 2 | X2 | EL1H  |
| -E*            | 3 | X3 | EL1PE |

Монтажная единица 01



Монтажная единица 00

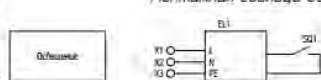


Рисунок 29. Схема монтажная и ряды зажимов защиты линии 10 кВ «Сириус».

[illegible]

161



Инф. N подл.

Подпись и дата

Взам. инф. N

Кабельный журнал. Лист .

K105

| Марки-<br>рабка<br>кабеля | ТРАССА                     |                         | КАБЕЛЬ     |   |            |          |   |             |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|------------|---|------------|----------|---|-------------|
|                           | Начало                     | Конец                   | по проекту |   |            | проложен |   |             |
|                           |                            |                         | Марка      | Количество<br>кабелей и се-<br>чение жил,<br>напряжение | Длина<br>м | Марка    | Количество<br>кабелей и се-<br>чение жил,<br>напряжение | Длина,<br>м |
|                           |                            | Щит постоянного тока    |            |   |            |          |   |             |
|                           |                            |                         |            |   |            |          |   |             |
| ШП-101                    | Помещение АБ 1-й элемент   | Выходная доска          | ВРГ        | 1х95  | 15         |          |   |             |
|                           |                            |                         |            |   |            |          |   |             |
| ШП-103                    | Помещение АБ 104-й элемент | Выходная доска          | ВРГ        | 1х95  | 15         |          |   |             |
| ШП-104                    | Выходная доска             | ЩПТ. Панель N3. 1АБ,2АБ |            | 3х185   | 17         |          | Существ.  |             |
|                           |                            |                         |            |   |            |          |   |             |
| ШП-117                    | Помещение ПУ. ЗВУ1.        | ЩПТ. Панель N3. АЗ-1    | ВВГнгLS    | 2х35  | 15         |          |   |             |
| ШП-118                    | Помещение ПУ. ЗВУ2.        | ЩПТ. Панель N3. АЗ-2    | ВВГнгLS    | 2х35  | 14         |          |   |             |
| ШП-119                    | Помещение ПУ. ЗВУ1.        | Пускатель вентилятора   | КВВГнгLS   | 4х1,5   | 40         |          |   |             |
|                           |                            |                         |            |   |            |          |   |             |
|                           |                            |                         |            |   |            |          |   |             |
| ЦС-271                    | Помещение ПУ. ЗВУ1.        | ЩПТ. Цепи сигнализации  | КВВГнгLS   | 10х1,5  | 28         |          |   |             |
| ЦС-272                    | Помещение ПУ. ЗВУ2.        | ЩПТ. Цепи сигнализации  | КВВГнгLS   | 10х1,5  | 27         |          |   |             |
|                           |                            |                         |            |   |            |          |   |             |

Изм.

Колуч.

Лист

Нбж.

Подпись

Дата

Лист

Листов

11

Рисунок 32. Кабельный журнал



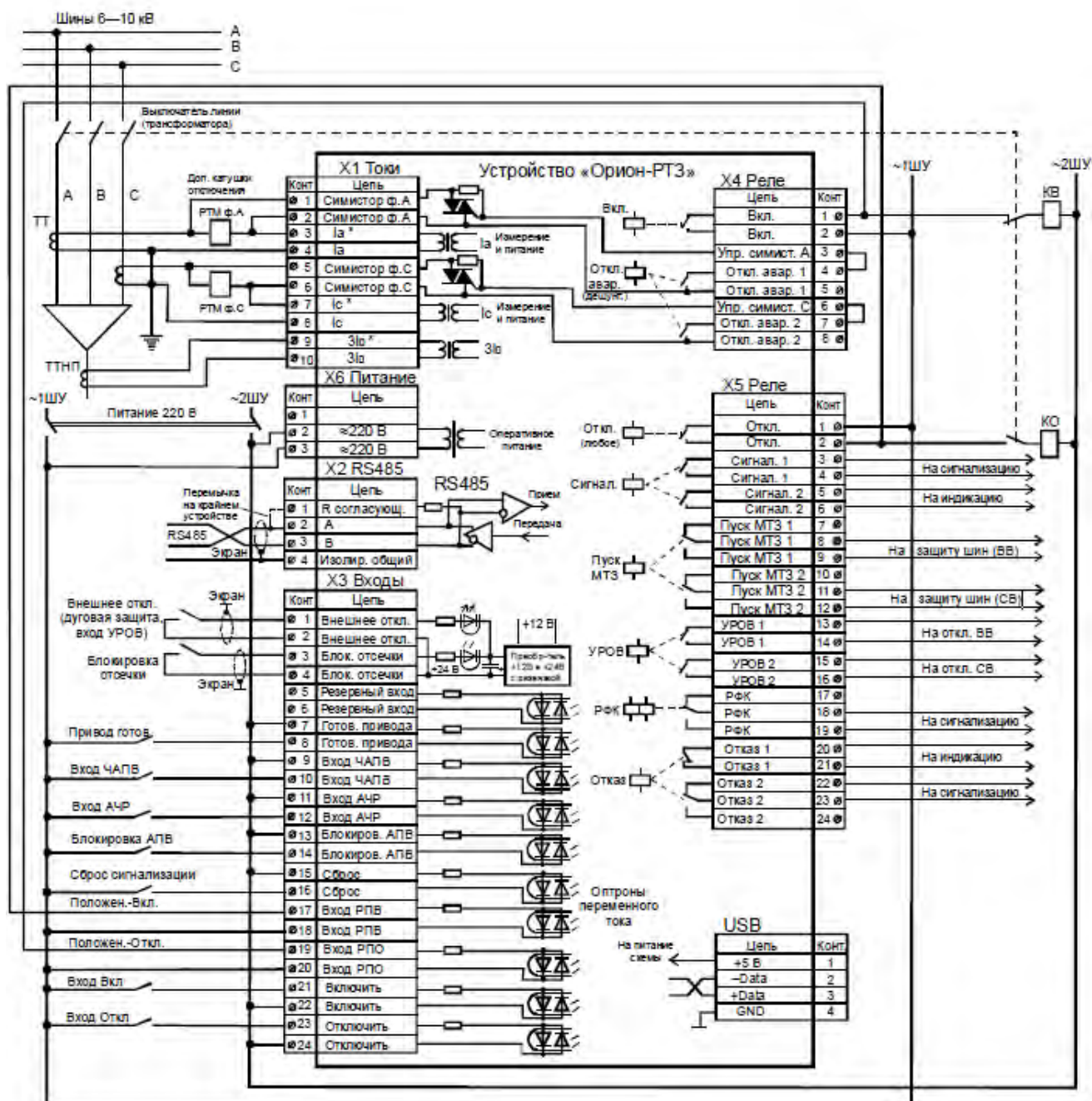


Рисунок 34. Схемы подключения внешних цепей к устройству «Орион-РТЗ»





Рисунок 35. Вид передней панели устройства (заднее присоединение)

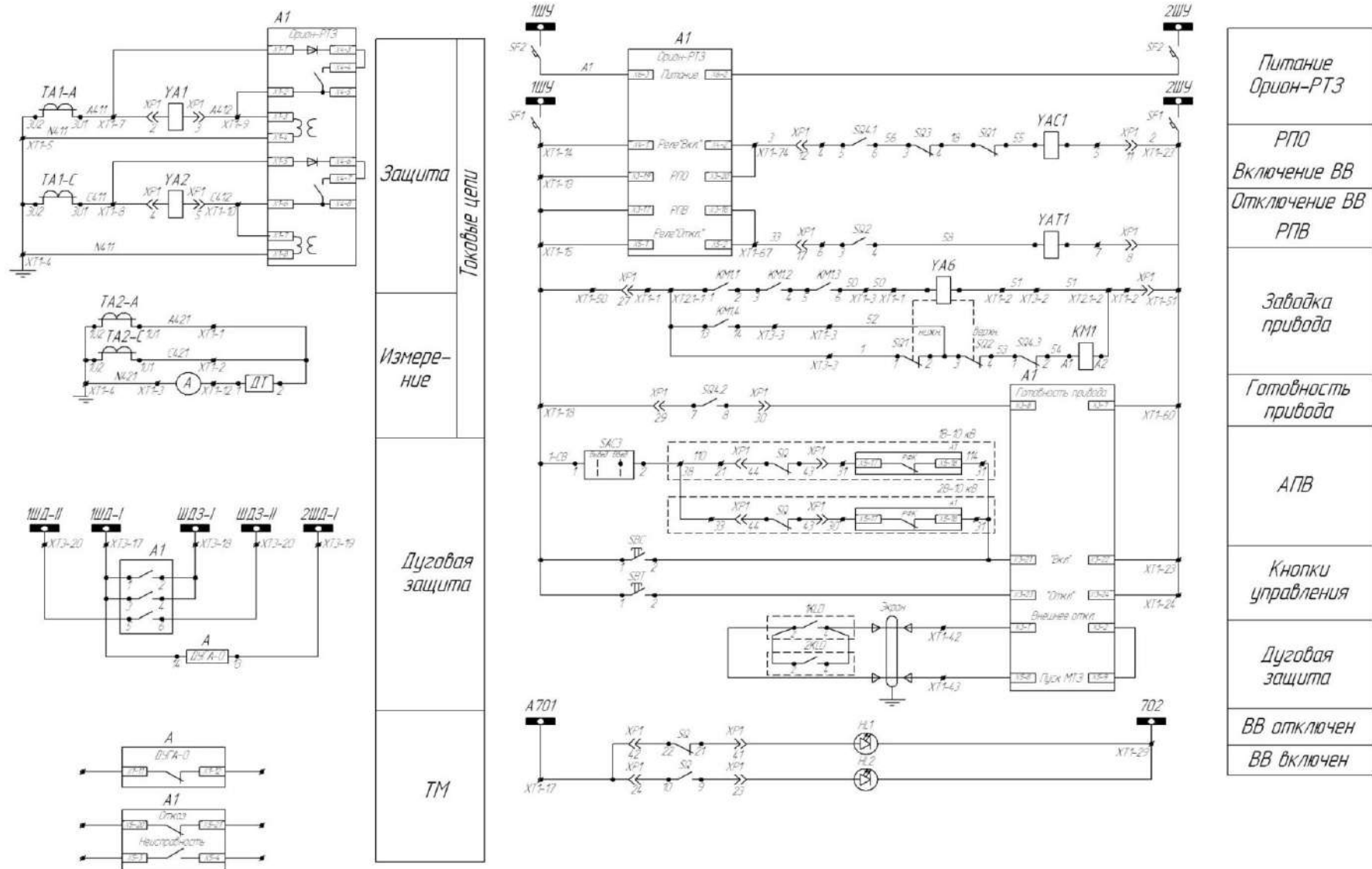


Рисунок 36. Принципиальная схема РЗА отходящей линии 6-10кВ. Орион-РТ



## **17. Основные положения по ревизии приборов, устройств и их элементов; эксплуатации и ремонта.**

1. Перед опробованием работоспособности приборов, устройств и их элементов необходимо (если это оговорено в инструкции завода – изготовителя) произвести ревизию, то есть снять смазочные покрытия и монтажные транспортировочные элементы; измерить параметры или характеристики и сверить с паспортными, формулярными данными завода – изготовителя.

Оформить протокол (акт) измерений. Эксплуатация производится согласно инструкций завода – изготовителя и ведомственных инструкций по эксплуатации находящихся на балансе предприятия приборов, устройств, комплектов и их элементов, а также отраслевых норм и правил.

2. Эксплуатация [12;13] заключается в сборке снятых элементов на ревизию и опробованию. По графику или результатам текущих измерений производит периодические измерения параметров (напряжения, тока, частоты и сопротивления) на контрольных точках согласно инструкции завода – изготовителя и сопоставление их с картами напряжений, токов, частоты и сопротивлений. Визуальный контроль показаний самоконтролируемых узлов приборов, устройств, комплектов и периодическая запись показаний в оперативных журналах или формулярах.

В эксплуатации практикуется внедрение инновации при условии согласования с заводом изготовителем, заключения ведущих отраслевых организаций и заключения технического совета. Одной из актуальных задач может послужить тема "Расширение технической возможности реле серии РТ-80 и РП- 340" Предмет задачи: На ряду с распространением МП РЗА, реклоузеров и другой техники существуют в эксплуатации дешевые, простые и распространенные в сельских электрических распределительных сетях в схемы дешунтирования катушек отключения приводов

выключателей. В схемах токовых защит используются распространенные реле РТВ, РТМ, РТ-80, РП-340, которые имеют существенный недостаток. Недостаток заключается в ограничении максимальной величиной 150А. тока в токовой цепи защиты. Настоящим техническим предложением для продления срока эксплуатации рекомендуется контактный элемент в двух последних реле заменить тиристорами (симисторами) увеличив порог по току в пределах допустимого для смежных элементов схемы [26].

3.Ремонт по схемам приборов, устройств, комплектов и их элементов производится сервисными центрами завода- изготовителя по гарантиям и заключенным договорам.

4.Связи службы РЗА со смежными подразделениями [10].

Производственные службы: Электрических подстанций, Высоковольтных линий электропередач, Распределительных сетей, и других подают заявки службе РЗА через Диспетчерскую службу на совместные ремонтные работы.

Диспетчерская служба регистрирует доступными у нее средствами в том числе записью в оперативном журнале по фактическому времени сценарии (работу) и режимы оборудования и системы синхронизированную или асинхронную со средствами РЗА и вторичных соединений.

Планово-экономический отдел совместно со службой РЗА планирует капитальный ремонт, модернизацию и замену средств вторичных соединений с оборудованием (или без) с выделением инвестиций.

Заключение договоров, графиков и объемов поставки, шеф монтажа и опробования нового или модернизации средств РЗА и вторичных соединений, а также гарантийного сервисного обслуживания заводов-изготовителей.

Заключение договоров, графиков и объемов монтажа пуско-наладочных работ модернизации и реконструкции действующего оборудования с подрядными организациями.

Совместные со смежными подразделениями противоаварийные тренировки на предмет правильности действия персонала и синхронность действия средств РЗА и вторичных соединений.

Согласованность графиков отпусков технического персонала с графиками плановых ремонтов высоковольтного оборудования и сетей.

Согласование дефектных ведомостей по выявленным отклонениям работы оборудования и системы и определить в нем объемы РЗА и вторичных соединений.

## 18. Список литературы

1. Правила устройства электроустановок / Мин-во энергетики Российской Федерации. - 7-е изд. - Москва: Энергосервис, 2009. – 695
2. Постановление Правительства РФ от 16.02.08г.№87 "О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию"
3. Нормы проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35 – 750 кВ (НТП ПС), СТО 56947007-29.240.10.248-2017/ ПАО «ФСК ЕЭС». – стандарт организации, 2017. – 135 с.
4. Общие требования к системам противоаварийной и режимной автоматики, релейной защиты и автоматики, телеметрической информации, технологической связи в ЕЭС России Приказ №57 от 11.02.08 "РАО ЕЭС РОССИИ"
5. Руководящие указания об определении понятий и отнесении видов работ и мероприятий в электросетях отрасли "Электроэнергетика" к новому строительству, расширению, реконструкции и техн. перевооружению. -М.: СПО ОРГРЭС,2000. и Приказ ОАО "ФСК ЕЭС" РФ от 28.09.07г. №312.
6. Ахметшин Р.С.Ахметшин М.Р. Рыбаков Л.М. Саримов Л.Р. "Проектирование систем электроснабжения и электротехнических устройств": Уч. пособие. - Уфа: АЭТЕРНА, 2017.-174с.
7. РД 153-34.3-35.613-00. Правила технического обслуживания устройств релейной защиты и электроавтоматики электрических сетей 0,4-35 кВ.
8. Правила технического обслуживания устройств релейной защиты, автоматики, дистанционного управления и сигнализации подстанций 110-750 кВ, СТО 56947007-33.040.20.141-2012/ ПАО «ФСК ЕЭС». – стандарт организации, 2012. – 148 с.
9. РД ЭО 1.1.2.25.0363-2011 - Цифровые (микропроцессорные) устройства релейной защиты и автоматики электроустановок собственных

нужд нормальной эксплуатации, систем важных для безопасности и аварийного электроснабжения атомных электростанций.

10. СТО 17330282.29.240.002-2007 - Релейная защита и автоматика, противоаварийная автоматика. Организация взаимодействия служб релейной защиты и автоматики в ЕЭС России.

11. Автоматизация распределительных электрических сетей с использованием цифровых реле. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2003 – 68 с.

12. Инструкции для оперативного персонала по обслуживанию устройств релейной защиты и электроавтоматики энергетических систем (СО 34.35.502-2005).

13. Инструкции по организации работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики электростанций и подстанций (СО 34.35.302-2006).

14. «Электрические принципиальные схемы ячеек КРУ 6(10) кВ с Seram серий 40, 80 с выключателями «Эволис» и LF для подстанций с силовыми трансформаторами 35 кВ и 110 кВ».

15. «Электрические принципиальные схемы защиты, управления трансформаторов 110 и 35 кВ подстанций энергосистем с использованием устройств Seram серии 80.и Seram 2000 D32»

16. ТП 407-3-680.07 РП 10/0.4кВ 400-1600кВА Ал 8. – Альбом типовых решений распределительных пунктов 10/0.4 кВ мощностью 400 – 1600 кВА. Альбом восьмой.

17. Ахметшин Р.С. , Рыбаков Л.М., Непрокин В.И. Стационарное средство диагностирования изоляции силовых трансформаторов под рабочим напряжением // Патент России № 2351942, опубл. 10.04.09, Бюл. № 8.

18. Ахметшин Р.С., Рыбаков Л.М. Переносное устройство для контроля состояния изоляции силовых трансформаторов // Патент России № 224559. 2004. Бюл. №6.

19. Ахметшин Р.С., Владимирова С.Г. Бадриев А.И. "Устройство для присоединения к измерительному трансформатору "Патент изобретения №2649405 от 03.04.18. Бюл. №10
20. Техническое обслуживание измерительных трансформаторов тока и напряжения. Изд. НЦ ЭНАС, г.Москва, 2002г.
21. Чернобровов Н.В. Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. М. Энергоатомиздат 1998г.
22. СТО 34.01-3.1-002-2016 - Типовые технические решения подстанций 6-110 кВ. Стандарт организации ПАО «РОССЕТИ».
23. Руководство по защите электрических сетей напряжением 110 – 750 кВ от грозových и внутренних перенапряжений, СТО 56947007-29.240.01.221-2016/ ПАО «ФСК ЕЭС». – стандарт организации, 2016. -46 с.
24. Шкафы дистанционной и токовой защит линии 110 – 220 кВ типа ШМЗЛ-03, ШМЗЛ-04. Руководство по эксплуатации / ЗАО «ЧЕАЗ», Чебоксары, 2012. – 35 с.
25. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем.-М.:Изд.дом-2008.-134с.
26. Ахметшин Р.С., Мунина А.И. Устройство релейной защиты в силовых сетях 6-10кВ. патент полезной модели № RU 159857 U1.Опубл. Бюл.№5 от 10.04.16.
27. IN-TI-COM-010 PD measurement Interpretation\_ru – Устройство обнаружения и качественного анализа частичных разрядов в изоляции маслонаполненного оборудования.
28. Устройство определения места повреждения воздушной линии электропередач. СТО 34.01.4.1-001-2016.

# Научное издание

Роберт Султанович Ахметшин, Егор Алексеевич Юдин,  
Марсиль Робертович Ахметшин

## *Электронные комплексы средств защиты и автоматики оборудования высоковольтных устройств*

Компьютерный набор и верстка: *Е.А. Юдин*

### В авторской редакции

Издательство не несет ответственности за опубликованные материалы.

Все материалы отображают персональную позицию авторов.

Мнение Издательства может не совпадать с мнением авторов

Подписано в печать 18.04.2019 г. Формат 60х84/8.

Усл. печ. л. 10,4. Тираж 500. Заказ 966.



Отпечатано в редакционно-издательском отделе  
НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «АЭТЕРНА»

450076, г. Уфа, ул. М. Гафури 27/2

<https://aeterna-ufa.ru>

[info@aeterna-ufa.ru](mailto:info@aeterna-ufa.ru)

+7 (347) 266 60 68