

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Фурсов Владимир Алексеевич

Должность: И.о. директора Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского

федерального университета

Дата подписания: 05.06.2026 09:13:31

Уникальный программный ключ:

1c378726a41fd0143ae5bccc8ba81860b00daa62

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению практических работ
по дисциплине «УСТРОЙСТВО ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

№ п/п	Стр
	.
Введение	
1. Цель и задачи изучения дисциплины	
2. Оборудование и материалы	
3. Наименование лабораторных работ	
4. Содержание лабораторных работ	
4.1 Практическая работа № 1. Автоматическое повторное включение линии электропередачи	
4.2 Практическая работа № 2. Автоматическое включение резерва питающего присоединения	
4.3 Практическая работа № 3. Автоматическое регулирование частоты вращения синхронного генератора	
4.4 Практическая работа № 4. Автоматическое регулирование возбуждения синхронного генератора	
4.5 Практическая работа № 5. Автоматическая синхронизация генератора с сетью	
4.6 Практическая работа № 6. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии в централизованных комплексах диспетчерского управления	

Введение

Целью практических работ является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с конструкцией электрических сетей, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения практических работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электрических схем сетей, измерениям электрических величин. Тематика практических работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях.

В предлагаемом методическом указании описано **шесть** практических работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью дисциплины «Устройство цифровых подстанций» является изучение технологий цифровой коммуникации, применяемых на объектах электроэнергетики. Рассматриваются основные принципы построения и функционирования микропроцессорных устройств, их назначение в рамках цифровой подстанции

Задачами изучения дисциплины является изучение:

- источников и закономерностей движения и преобразования информационных потоков в современных цифровых системах управления объектами электроэнергетики;
- цифровых протоколов связи, назначения и структуры пакетов передачи данных;
- микропроцессорных устройств РЗА и интеллектуальных электронных устройств цифровой подстанции;

Содержание дисциплины посвящено вопросам организации систем сбора и передачи информации для обеспечения работы автоматизированных систем диспетчерского управления, включая вопросы передачи и преобразования информации.

2. Оборудование и материалы

Лаборатория теоретических основ электротехники, релейной защиты и электробезопасности с интерактивным мультимедиа оборудованием

Мультимедийное оборудование: интерактивный проектор, ноутбук, магнитно-

маркерная доска. Комплект учебной мебели.

Комплект типового лабораторного оборудования «Электроэнергетика – Электрические станции и подстанции» ЭЭ1-ЭСП-С-К.

3. Наименование практических работ

Для студентов заочной формы обучения предусмотрены лабораторные работы: Практическая работа № 5. Вопросы создания и внедрения цифровых подстанций. - 6 часов.

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
1	Практическая работа № 1. Автоматическое повторное включение линии электропередачи	6	
2	Практическая работа № 2. Автоматическое включение резерва питающего присоединения	6	
4	Практическая работа № 4. Автоматическое регулирование возбуждения синхронного генератора	6	
5	Практическая работа № 5. Автоматическая синхронизация генератора с сетью	6	
	Итого за 8 семестр	24	
	Итого	24	

4. Содержание практических работ

Практическая работа № 1

Автоматическое повторное включение линии электропередачи

Цель работы:

- изучить особенности взаимодействия устройств АПВ и релейной защиты;
- изучить принципы расчета уставок АПВ линий электропередач с односторонним питанием
- изучить алгоритмы работы устройств АПВ на линиях с односторонним питанием;

1.1 Архитектуры подстанций

В зависимости от объемов внедрения цифровых технологий передачи данных на подстанции выделяют три архитектуры подстанций.

Архитектура I предполагает применение протокола MMS для интеграции устройств РЗА и контроллеров присоединений (КП) в единую систему АСУ ТП без использования протоколов GOOSE и SV. Таким образом, первая архитектура не предполагает использование ШПДС, ШПАС. При проектировании системы по архитектуре I следует руководствоваться существующими нормами проектирования вторичных систем и цепей. Дополнительные требования в проекте предъявляются к формату представления таблиц сигналов, передаваемых в АСУ ТП, где должны использоваться наименования сигналов по стандарту МЭК 61850 в соответствии с корпоративным профилем стандарта МЭК 61850 ПАО «ФСК ЕЭС» [1].

Архитектура II предполагает применение протокола MMS для интеграции устройств РЗА и КП в единую систему АСУ ТП, а также использование протокола GOOSE для быстрой передачи информации между устройствами уровня присоединения (РЗА и КП), а также для передачи сигналов между устройствами защиты и автоматики и преобразователями дискретных сигналов, установленными в ШПДС. Применение протокола Sampled Values в данной архитектуре не предусматривается. Таким образом, вторая архитектура предполагает применение ШПДС. Применение протокола GOOSE на объектах архитектуры II для передачи данных между ШПДС и ШЭТ, а также между разными ШЭТ накладывает дополнительные требования на организацию ЛВС объекта и соблюдение требований корпоративного профиля стандарта МЭК 61850 ПАО «ФСК ЕЭС» при задании параметров для соответствующих GOOSE-сообщений.

Архитектура III предполагает применение протокола MMS для интеграции устройства РЗА и КП в единую систему АСУ ТП, применение протокола GOOSE для быстрой передачи информации между устройствами уровня присоединения (РЗА и КП) и передачи информации между устройствами защиты и автоматики и ШПДС, а также применение протокола Sampled Values для передачи данных измерений токов и напряжений от ЦТТ и ЦТН, и, на переходном этапе, от ШПАС. При проектировании объектов в соответствии с архитектурой III в дополнение к особенностям архитектуры II также добавляются требования по соблюдению требований корпоративного профиля МЭК 61850 ПАО «ФСК ЕЭС» в части передачи данных с использованием протокола Sampled Values. Кроме того, в случае использования цифровых трансформаторов тока изменяется методика выбора номинальных параметров указанных аппаратов по сравнению с традиционной. В ячейках вводных присоединений 6-35 кВ для ПС Архитектуры III используются ПАС, устанавливаемые в релейном отсеке данных ячеек и подключаемые к электромагнитным ТТ. В случае невозможности обеспечить правильность работы РЗА через ПАС необходимо использовать ЦТТ [1].

Все особенности реализации архитектур I, II и III в части применяемых технических средств и протоколов стандарта МЭК 61850 приведены в Таблице 1.1.

Таблица 1.1. Особенности реализации Архитектур I, II и III

	Архитектура I	Архитектура II	Архитектура III
Использование протокола MMS	Да	Да	Да
Использование протокола GOOSE	Нет	Да	Да
Использование протокола Sampled Values	Нет	Нет	Да
Применение оборудования с поддержкой МЭК 61850 на подстанционном уровне	Да	Да	Да
Применение оборудования с поддержкой МЭК 61850 на уровне присоединения	Да	Да	Да
Применение оборудования с поддержкой МЭК 61850 на полевом уровне	Нет	Да	Да
Использование ШПДС	Нет	Да	Да
Использование ШПАС	Нет	Нет	Да
Использование ЦТТ и ЦТН, работающих по протоколу Sampled Values	Нет	Нет	Да

1.2 Требования по установке ШПДС

В шкафах преобразования дискретных сигналов (ШПДС) устанавливаются устройства преобразования дискретных сигналов (ПДС). ПДС предназначены для преобразования дискретных сигналов положений коммутационных аппаратов в цифровую форму и последующей передачи посредством протокола GOOSE устройствам РЗА и АСУ ТП и преобразования GOOSE-сообщений, получаемых от устройств среднего уровня РЗА и АСУ ТП, в дискретные сигналы для выдачи команд на исполнительные механизмы коммутационных аппаратов.

Шкафы преобразования дискретных сигналов (ШПДС) размещаются в непосредственной близости от первичного оборудования, являющегося источниками и приёмниками первичных сигналов, с целью минимизации протяженности контрольных цепей и количества клеммных соединений.

ПДС, устанавливаемые внутри ШПДС, подключаются к аппаратам таким образом, чтобы исключить отказ работоспособности функций управления силовым выключателем ввиду выхода из строя одного из устройств ПДС при условии работоспособности резервирующих устройств.

По типам в соответствии с классификацией СТО на типовые шкафы ПАО «ФСК ЕЭС» ШПДС подразделяются на две группы:

- ШПДС для коммутационного оборудования (серия ШПДС-х-х-х);
 - ШПДС для маслонаполненного оборудования (серия ШПДС МО).
- ШПДС может применяться для сбора сигнализации и управления:

- выключателем с трёхфазным или пофазным приводом;
- одним разъединителем с двумя заземляющими ножами — всего тремя коммутационными аппаратами, не включая выключателя;
- двумя разъединителями, оснащенными двумя заземляющими ножами каждый — всего шестью коммутационными аппаратами, не включая выключателя;
- разъединители могут быть как с трехфазным приводом, так и с пофазным [1].

1.3 Варианты исполнений ШПДС

Исполнение ШПДС-0-0-3 предназначено для контроля 3 (трех) трехфазных аппаратов с пофазным приводом, например, сборки из 1 (одного) разъединителя и 2 (двух) заземляющих ножей. Общее количество фаз аппаратов, контролируемых ШПДС-0-0-3 составляет 9 (девять).

Исполнение ШПДС-0-3-0 предназначено для контроля 3 (трех) коммутационных аппаратов с трехфазным приводом, например, сборки из 1 (одного) разъединителя и 2 (двух) заземляющих ножей.

Исполнение ШПДС-1-0-3 предназначено для контроля одного силового выключателя с трехфазным приводом и 3 (трех) трехфазных аппаратов с пофазным приводом, например, сборки из 1 (одного) силового выключателя, 1 (одного) разъединителя и 2 (двух) заземляющих ножей.

В качестве временного решения для преобразования дискретных сигналов в цифровую форму и из цифровой формы в дискретные сигналы во время реконструкции внутри ОПУ применяются шкафы ШЭТ ПДС. При реализации цифрового интерфейса системы пожаротушения маслонеполненного оборудования применяются шкафы ШЭТ ПДС НСП и ШЭТ ПДС КПЗ, устанавливаемые в помещениях насосной станции пожаротушения и камеры переключения задвижек соответственно.

Полный перечень вариантов исполнения ШПДС для архитектуры типа II (III) приведен в [1].

Для сборок линейного разъединителя с заземляющими ножами в исполнении с трехфазным приводом следует применять шкаф ШПДС-0-0-3.

Для сборок коммутационных аппаратов в рамках присоединений 330-500 кВ, состоящих из 1 (одного) силового выключателя с пофазным приводом, и 2 (двух) разъединителей с заземляющими ножами следует использовать ШПДС-2-0-6.

1.4 Пример изображения схемы с указанием мест установки ШПДС

На рисунке 1.1 приведен фрагмент схемы с изображенными на ней ШПДС.

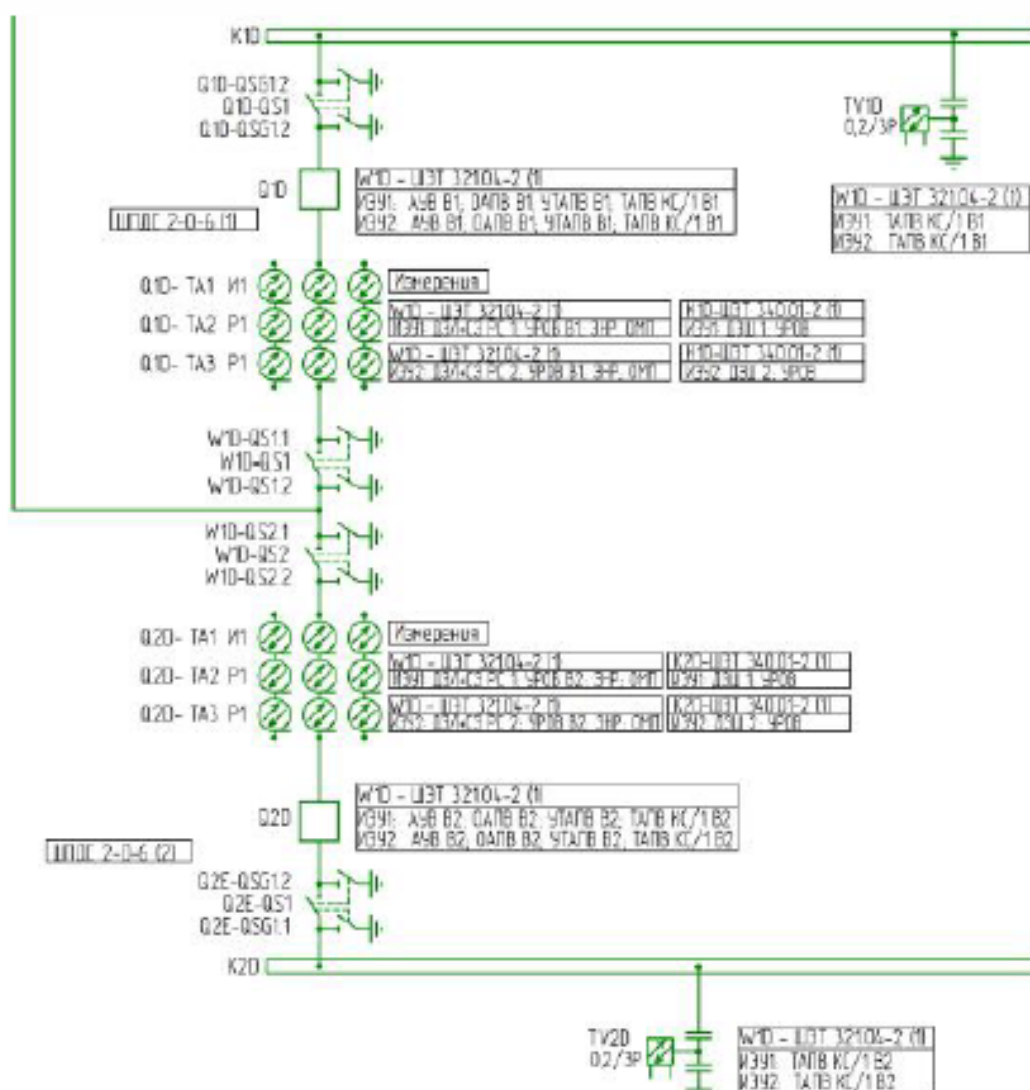


Рисунок 1.1- Пример схемы с изображением мест подключения ШПДС

1.5 Указания по выбору мест установки и подключения ШПАС

Шкафы преобразователей аналоговых сигналов (ШПАС) предназначены для размещения устройств преобразования аналоговых сигналов (ПАС). Устройства ПАС предназначены для преобразования аналоговых сигналов от электромагнитных измерительных трансформаторов тока и напряжения в цифровой формат в соответствии с протоколом стандарта МЭК 61850-9-2. ШПАС предусматриваются при реализации объектов по архитектуре III типа на переходном этапе (до широкомасштабного внедрения цифровых ТТ и ТН). В случаях, не противоречащих НПА и НТД, на ВЛ 110 кВ и выше предусматривается установка шкафов отбора напряжения или однофазных трансформаторов напряжения для АПВ с контролем наличия напряжения и/или синхронизма. В этом случае для преобразования аналоговых сигналов в цифровой формат используется ШПАС ОН.

ШПАС применяются только для цепей РЗА, а цепи измерительных преобразователей, приборов учёта и контроля качества электрической энергии подключаются к цепям электромагнитных ТТ напрямую.

При проектировании объектов ПАО «ФСК ЕЭС» должны применяться типовые ШПАС [1]:

- ШПАС ТН - преобразования в SV поток аналогового сигнала напряжения от обмоток «звезда» измерительного трансформатора напряжения. К ШПАС ТН подключается шесть цепей напряжения: 3 со стороны «звезды», 3 со стороны «звезды» или «разомкнутого треугольника» для контроля цепей напряжения;

- ШПАС ТТ - предназначен для преобразования в SV поток аналогового сигнала от трансформаторов тока. В ШПАС ТТ устанавливаются два ПАС, каждый из которых подключается к отдельной обмотке ТТ;

- ШПАС ОН - предназначен для преобразования в SV поток аналогового сигнала от шкафа отбора напряжения (ШОН) или однофазного ТН.

1.6 Указания по выбору параметров и мест подключения цифровых ТТ и ТН

Цифровые трансформаторы тока и напряжения являются разновидностью электронных ТТ и ТН, снабженных цифровым интерфейсом, передающим данные, как правило, по протоколам стандарта МЭК 61850.

Цифровые ТТ и ТН могут отличаться по принципу действия и, в связи с этим, обладать рядом характеристических особенностей, обуславливающих правила выбора параметров указанных аппаратов. Отдельными стандартами организации на конкретные виды ЦТТ и ЦТН могут быть установлены дополнительные требования.

Цифровые ТН устанавливаются по тем же правилам, что и электромагнитные, так как точки контроля напряжения для функций РЗА и АСУ ТП сохраняются.

Цифровые ТТ обладают рядом особенностей по сравнению с электромагнитными:

- больший по сравнению с электромагнитными ТТ диапазон измеряемых токов в пределах класса точности;

- выдача мгновенных значений токов и напряжений в цифровом виде с конкретным значением в первичных величинах;

- возможность суммирования значений двух потоков ЦТТ в цепи выключателей для вычисления тока ЛЭП без потери точности.

При проектировании установки ЦТТ необходимо учитывать следующие особенности:

- для выполнения дифференциальной защиты ошиновки высшего напряжения ЦТТ устанавливаются в непосредственной близости от автотрансформатора, этим достигается ввод в зону действия ДЗТ вводов ВН и пуск пожаротушения только от ДЗТ, КИВ и газовой защиты;

- для ЛЭП, подключаемых к РУ через два выключателя, установка ЦТТ в ЛЭП требует технического обоснования.

Цифровые электронные трансформаторы по принципу действия обладают более линейной характеристикой по сравнению с традиционными электромагнитными трансформаторами, благодаря чему для цифровых трансформаторов тока используется укороченная шкала диапазонов номинальных токов, в которых ЦТТ может ра-

ботать в рамках заявленного класса точности. В соответствии с [1] определена шкалы номинальных параметров для цифровых трансформаторов тока для измерений и защиты, представленные в таблицах ниже

На присоединении 110 кВ в схеме с двумя системами сборных шин с обходной шинный разъединитель секции шин 1 выполняется в исполнении с трехфазным приводом, а шинный разъединитель секции шин 2 выполняется в исполнении с пофазным приводом. В связи с этим на таком виде присоединений для сбора сигналов положения и управления выключателем, разъединителями и заземляющими ножами используется исполнение ШПДС-1-3-3.

Расстановка ШПДС для присоединений линии 110 кВ по схеме двух систем сборных шин с обходной выполняется аналогично рассмотренному выше случаю присоединения силового трансформатора 110 кВ.

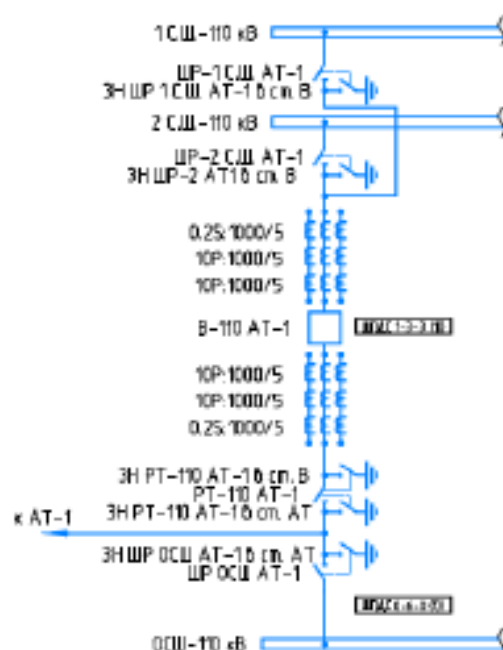


Рисунок 1.2 - Распределение ШПДС по коммутационным аппаратам на присоединении 110 кВ в схеме с двойной системой сборных шин с обходной

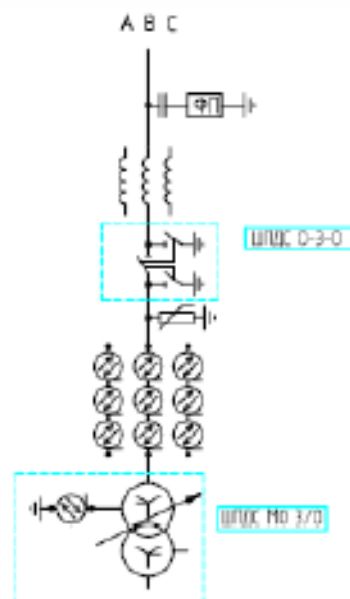


Рисунок 1.3 - Схема распределения ШПАС

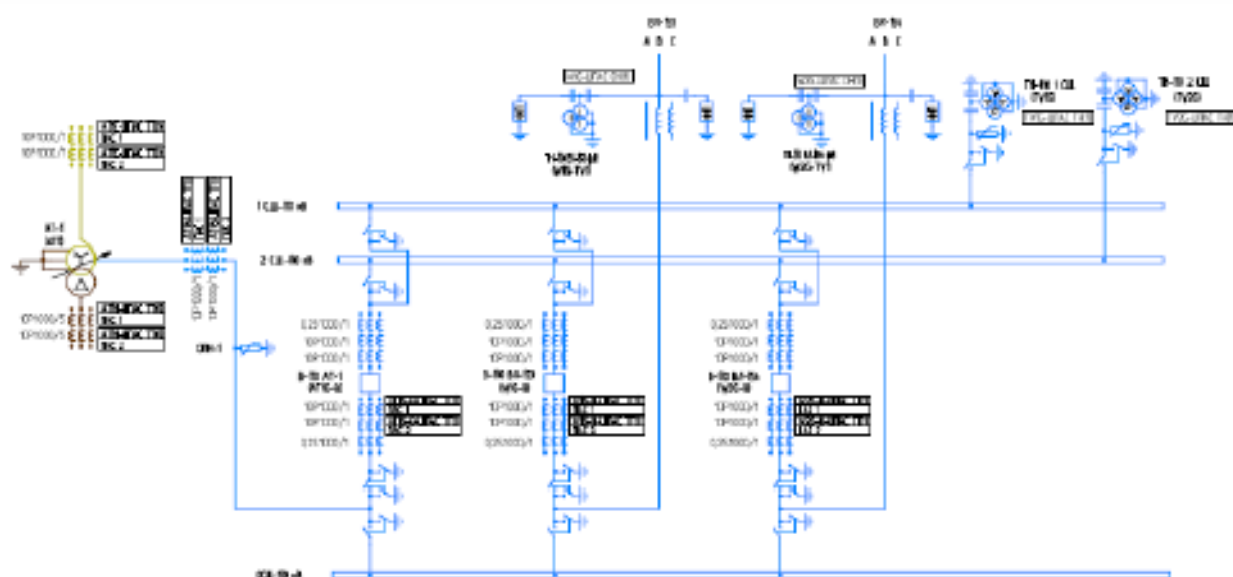


Рисунок 1.4 – Распределение ШПАС по цепям ТТ и ТН

1.7 Задание на практическое занятие №1

1.7.1 Разработать структурную схему цифровой подстанции для распределительной трансформаторной станции (РТП), имеющей следующие присоединения: цеховой трансформатор ТП1, асинхронный электродвигатель (АД), синхронный электродвигатель (СД). Исходные данные приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Исходные данные

Номер варианта	Элементы схемы				
	Мощность ТП1, кВА	Мощность АД1, кВт	Мощность АД2, кВт	Мощность СД1, кВт	Мощность СД1, кВт
1	630	1800	500	630	800
2	1000	250	400	500	200
3	250	315	1000	1000	250
4	400	1800	400	630	800
5	1000	250	400	500	200
6	630	315	1000	1000	250
7	1000	1800	630	630	800
8	630	200	400	400	200
9	400	315	8	1000	250
10	1000	1800	500	630	63000
11	630	250	400	500	200
12	400	315	1000	200	250
13	1000	1000	500	630	800

1.7.2 Выбрать и разместить на схеме шкафы преобразования дискретных сигналов (ШПДС).

1.7.3 Выбрать и разместить на схеме шкафы преобразователей аналоговых сигналов (ШПАС).

1.7.4 Выбрать и разместить на схеме места подключения цифровых ТТ и ТН.

1.8 Контрольные вопросы

- 1 Расскажите об архитектуре I.
- 2 Расскажите об архитектуре II.
- 3 Расскажите об архитектуре III.
- 4 Расскажите о требованиях по установке ШПДС.
- 5 Какие существуют варианты исполнений ШПДС?
- 6 Расскажите о выборе мест установки и подключения ШПАС.
- 7 Как выбираются параметры и места подключения цифровых ТТ и ТН?
- 8 Как распределяются ШПДС по коммутационным аппаратам?
- 9 Как распределяются ШПАС по цепям ТТ и ТН.

Практическая работа №2

Автоматическое включение резерва питающего присоединения

Цель работы:

– изучить принцип действия и особенности работы устройств автоматического включения резерва питающего присоединения.

2.1 Маршрутизаторы в локальных сетях

Объединение нескольких локальных сетей в глобальную (распределенную, составную) WAN-сеть происходит с помощью устройств и протоколов сетевого Уровня 3 семиуровневой эталонной модели или уровня межсетевого взаимодействия четырехуровневой модели TCP/IP. Если LAN объединяют рабочие станции, периферию, терминалы и другое сетевое оборудование в одной аудитории или в одном здании, то WAN обеспечивают соединение LAN на широком географическом пространстве. В составную распределенную сеть (internetwork, internet) входят как локальные сети и подсети (subnet), так и отдельные пользователи. Устройствами, объединяющими LAN в составную сеть, являются [3]:

- маршрутизаторы (routers);
- модемы;
- коммуникационные серверы.

Наиболее распространенными устройствами межсетевого взаимодействия сетей, подсетей и устройств являются маршрутизаторы. Они представляют собой специализированные компьютеры для выполнения специфических функций сетевых устройств. Маршрутизаторы используются, чтобы сегментировать локальную сеть на широковещательные домены, т. е. являются устройствами LAN, но они применяются и как устройства формирования глобальных сетей. Поэтому маршрутизаторы имеют как LAN-, так и WAN-интерфейсы. Маршрутизаторы используют WAN-интерфейсы, чтобы связываться друг с другом, и LAN-интерфейсы – для связи с узлами (компьютерами), например через коммутаторы. Поэтому маршрутизаторы являются устройствами как локальных, так и глобальных сетей. Маршрутизаторы являются также основными устройствами больших корпоративных сетей.

На рисунке 2.1 приведен пример того, как маршрутизаторы А, В и С объединяют несколько локальных сетей (локальные сети № 1, № 2, № 3) в распределенную (составную) сеть. Поэтому маршрутизаторы имеют интерфейсы как локальных, так и глобальных соединений. К локальным сетям, созданным на коммутаторах, маршрутизатор присоединен через интерфейсы, которые на рис. 2.1 обозначены через F0/1, что означает: интерфейс Fast Ethernet, слот 0, номер 1. Глобальные соединения на рис. 2.1 представлены последовательными или серийными (serial) интерфейсами S0/1, S0/2. Через такой же последовательный интерфейс реализовано соединение составной сети с сетью Интернет (Internet). Подобная структурная схема, включающая несколько последовательно соединенных маршрутизаторов, характерна для многих корпоративных сетей.

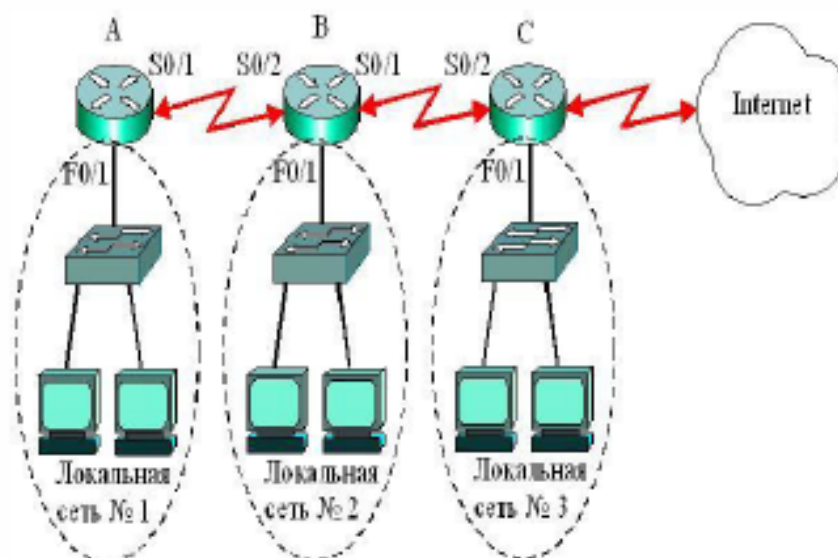


Рисунок 2.1 - Составная сеть на маршрутизаторах

В большинстве случаев соединение маршрутизатора локальной сети с сетью Интернет производится через сеть провайдера. Терминальное (оконечное) оборудование (Data Terminal Equipment – DTE), к которому относится и маршрутизатор, подсоединяется к глобальной сети (или к сети провайдера) через канальное коммуникационное оборудование (Data Communications Equipment, или Data Circuit-Terminating Equipment, – DCE). Маршрутизатор обычно является оборудованием пользователя, а оборудование DCE предоставляет провайдер. Услуги, предоставляемые провайдером для терминальных устройств DTE, доступны через модем или цифровое устройство согласования с каналом связи (Channel Service Unit / Data Service Unit – CSU/DSU), которые и являются оборудованием DCE (рис. 2.2). Оборудование DCE является ведущим в паре DCE-DTE, оно обеспечивает синхронизацию и задает скорость передачи данных.

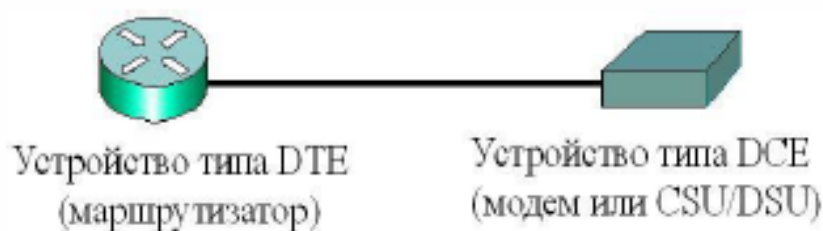


Рисунок 2.2 - Устройства распределенных сетей

Поскольку маршрутизаторы в распределенных сетях (рис. 2.1) часто соединяются последовательно, из двух последовательно соединенных серийных интерфейсов маршрутизаторов один должен выполнять роль устройства DCE, а второй – устройства DTE (рис. 2.3).

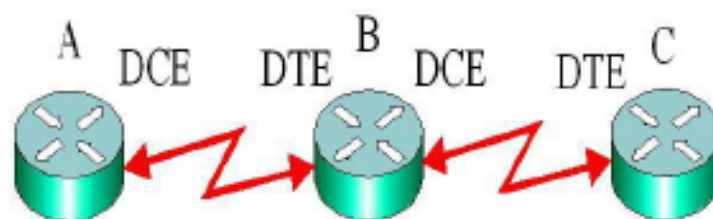


Рисунок 2.3 - Последовательное соединение маршрутизаторов

Главными функциями маршрутизаторов являются:

- выбор наилучшего пути для пакетов к адресату назначения;
- продвижение (коммутация) принятого пакета с входного интерфейса на соответствующий выходной интерфейс.

Таким образом, маршрутизаторы обеспечивают связь между сетями и определяют наилучший путь пакета данных к сети адресата, причем технологии объединяемых локальных сетей могут быть различными.

Протоколы канального (data link) уровня WAN описывают, как по сети передаются кадры. Они включают протоколы, обеспечивающие функционирование через выделенные соединения "точка-точка" и через коммутируемые соединения. Основными WAN протоколами и стандартами канального уровня являются: High-level Data Link Control (HDLC), Point-to-Point Protocol (PPP), Synchronous Data Link Control (SDLC), Serial Line Internet Protocol (SLIP), X.25, Frame Relay, ATM. Основными протоколами и стандартами физического уровня являются: EIA/TIA-232, EIA/TIA-449, V.24, V.35, X.21, G.703, EIA-530, ISDN, E1, E3, XDSL, SDH (STM-1, STM-4 и др.) [3].

Функционируя на Уровне 3 модели OSI, маршрутизаторы принимают решения, базируясь на сетевых логических адресах (IP-адресах). Для определения наилучшего пути передачи данных через связываемые сети маршрутизаторы строят таблицы маршрутизации и обмениваются сетевой маршрутной информацией с другими маршрутизаторами. Администратор может конфигурировать статические маршруты и поддерживать таблицы маршрутизации вручную. Однако большинство таблиц маршрутизации создается и поддерживается динамически, за счет использования протоколов маршрутизации (routing protocol), которые позволяют маршрутизаторам автоматически обмениваться информацией о сетевой топологии друг с другом.

Функционирование маршрутизаторов происходит под управлением сетевой операционной системы (Internetwork Operation System – IOS), текущая (running) версия которой находится в оперативной памяти RAM (рис. 2.4). Помимо текущей версии IOS оперативная память хранит активный конфигурационный файл (Active Configuration File) и таблицы протоколов динамической маршрутизации, выполняет буферизацию пакетов и поддерживает их очередь, обеспечивает временную память для конфигурационного файла маршрутизатора, пока включено питание.

Загрузка операционной системы IOS в оперативную память обычно производится из энергонезависимой флэш-памяти (Flash), которая является перепрограммируемым запоминающим устройством (ППЗУ). После модернизации IOS она пе-

резаписывается во флэш-память, где может храниться несколько версий. Версию операционной системы можно также сохранять на TFTP-сервере (рис. 2.4).

Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ – ROM) содержит программу начальной загрузки (bootstrap) и сокращенную версию операционной системы, установленную при изготовлении маршрутизатора. Обычно эта версия IOS используется только при выходе из строя флэш-памяти. Память ROM также поддерживает команды для теста диагностики аппаратных средств (Power-On Self Test – POST).

Энергонезависимая (non-volatile) оперативная память NVRAM маршрутизатора является перепрограммируемым запоминающим устройством (ППЗУ). NVRAM хранит стартовый (startup) конфигурационный файл, который после изменения конфигурации перезаписывается в ППЗУ, где создается резервная копия (backup). Конфигурационные файлы содержат команды и параметры для управления потоком трафика, проходящим через маршрутизатор. Конфигурационный файл используется для выбора сетевых протоколов и протоколов маршрутизации, которые определяют наилучший путь для пакетов к адресуемой сети. Первоначально конфигурационный файл обычно создается с консольной линии (console) и помимо памяти NVRAM может сохраняться на TFTP-сервере (рис. 2.4). Временное хранение входящих и исходящих пакетов обеспечивается в памяти интерфейсов, которые могут быть выполнены на материнской плате или в виде отдельных модулей.



Рисунок 2.4 - Элементы памяти и программы маршрутизатора

При включении маршрутизатора начинает функционировать программа начальной загрузки bootstrap, которая тестирует оборудование и загружает операционную систему IOS в оперативную память RAM. В оперативную память загружается также конфигурационный файл, хранящийся в NVRAM. В процессе конфигурирования маршрутизатора задаются адреса интерфейсов, пароли, создаются таблицы маршрутизации, устанавливаются протоколы, проводится проверка параметров. Процесс коммутации и продвижения данных проходит под управлением операционной системы.

2.2. Принципы маршрутизации

Информационный поток данных, созданный на прикладном уровне, на транспортном уровне "нарезается" на сегменты, которые на сетевом уровне снабжаются заголовками и образуют пакеты (см. рис. 1.7, рис. 1.8). Заголовок пакета содержит сетевые IP-адреса узла назначения и узла источника. На основе этой информации средства сетевого уровня – маршрутизаторы осуществляют передачу пакетов между конечными узлами составной сети по определенному маршруту.

Маршрутизатор оценивает доступные пути к адресату назначения и выбирает наиболее рациональный маршрут на основе некоторого критерия – метрики. При оценке возможных путей маршрутизаторы используют информацию о топологии сети. Эта информация может быть сконфигурирована сетевым администратором или собрана в ходе динамического процесса обмена информацией между маршрутизаторами, который выполняется в сети протоколами маршрутизации.

Пакет, принятый на одном (входном) интерфейсе, маршрутизатор должен отправить (продвинуть) на другой (выходной) интерфейс (порт), который соответствует наилучшему пути к адресату. Чтобы передать пакеты от исходной сети (от источника) до сети адресата (назначения), на сетевом Уровне 3 маршрутизаторы используют таблицы маршрутизации для определения наиболее рационального пути.

Процесс прокладывания маршрута происходит последовательно от маршрутизатора к маршрутизатору. При прокладывании пути для пакета каждый маршрутизатор анализирует сетевую часть адреса узла назначения, заданного в заголовке поступившего пакета, т.е. вычленяет адрес сети назначения. Затем маршрутизатор обращается к таблице маршрутизации, в которой хранятся адреса всех доступных сетей, и определяет свой выходной интерфейс, на который необходимо передать (продвинуть) пакет. Таким образом, маршрутизатор ретранслирует пакет, продвигая его с входного интерфейса на выходной, для чего использует сетевую часть адреса назначения, обращаясь к таблице маршрутизации.

Выходной интерфейс связан с наиболее рациональным маршрутом к адресату. Конечный маршрутизатор на пути пакета непосредственно (прямо) связан с сетью назначения. Он использует часть сетевого адреса, содержащую адрес узла назначения, чтобы доставить пакет получателю данных.

Процесс ретрансляции пакетов маршрутизаторами рассмотрен на примере сети, приведенной на рис. 2.5. Маршрутизаторы в целом сетевого адреса не имеют, но поскольку они связывают между собой несколько сетей, каждый интерфейс (порт) маршрутизатора имеет уникальный адрес, сетевая часть которого совпадает с номером сети, соединенной с данным интерфейсом. Последовательные (serial) порты, соединяющие между собой маршрутизаторы, на рисунке обозначены молниевидной линией.

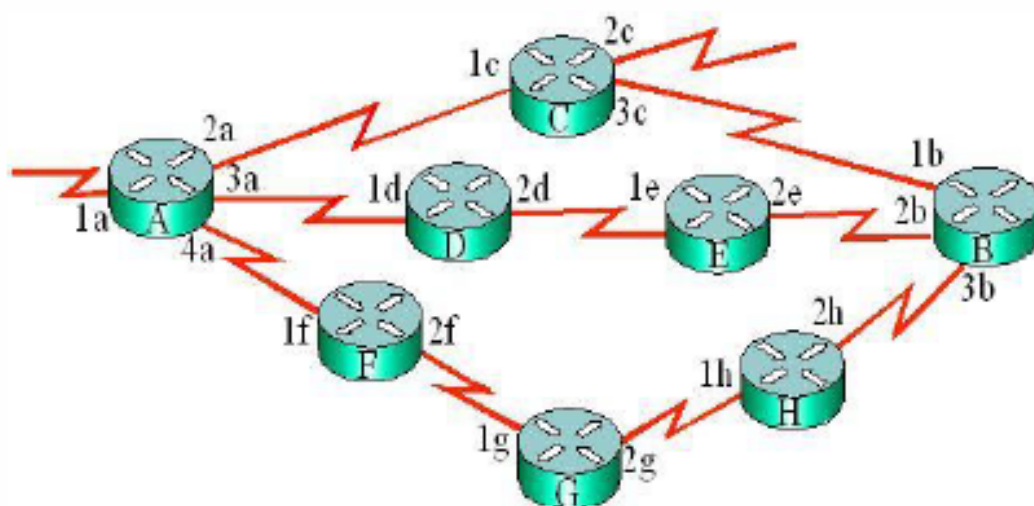


Рисунок 2.5- Определения пути пакета

Путь от маршрутизатора А к маршрутизатору В может быть выбран:

- через маршрутизатор С;
- через маршрутизаторы D и E;
- через маршрутизаторы F, G и H.

Оценка наилучшего пути производится на основе метрики. Например, если метрика учитывает только количество маршрутизаторов на пути к адресату, то будет выбран первый маршрут. Если же метрика учитывает полосу пропускания линий связи, соединяющих маршрутизаторы, то может быть выбран второй или третий маршрут при условии, что на этом пути наиболее широкополосные линии связи.

При выборе первого пути функция коммутации реализуется за счет продвижения поступившего на интерфейс 1а маршрутизатора А пакета на интерфейс 2а. Таким образом, пакет попадает на интерфейс 1с маршрутизатора С, который продвинет полученный пакет на свой выходной интерфейс 3с, т. е. передаст полученный пакет маршрутизатору В.

В локальных сетях телекоммуникаций на основе дейтаграмм устройствам необходимы как MAC-адрес, так и IP-адрес, которые для каждого узла образуют соответствующую пару. На каждом конечном узле можно посмотреть его физический адрес и IP-адрес по команде `ipconfig /all` (рис. 6.7). Из распечатки следует, что физическим MAC-адресом конечного узла является 00-19-D1-93-7E-BE, а логическим IP-адресом – 10.0.118.52.

Протокол ARP может по IP-адресу автоматически определить MAC-адрес устройства. Каждое устройство в сети поддерживает таблицу ARP table, которая содержит соответствующие MAC- и IP-адреса других устройств той же локальной сети. Таблица ARP любого узла может быть просмотрена по команде `arp`. Записи таблицы хранятся в памяти RAM, где динамически поддерживаются.

2.3 Задание на практическую работу №2.

1 Произвести сравнительный анализ маршрутизаторов различных производителей.

1 Выбрать маршрутизаторы для локальной вычислительной сети ЦПС

2 Разместить маршрутизаторы на структурной схеме ЦПС.

2.4 Контрольные вопросы

1 Какие устройства объединяют LAN в распределенную составную сеть?

2 Какого типа интерфейсы имеют маршрутизаторы?

3 Что означают термины DTE, DCE?

4 Для чего служит устройство CSU/DSU?

5 Могут ли маршрутизаторы объединять локальные сети различных технологий?

6 На основании чего маршрутизатор ретранслирует пакет, продвигая его с входного интерфейса на выходной?

7 Что служит оценкой наилучшего пути к адресату назначения?

8 Какой протокол позволяет находить MAC-адреса по известному сетевому адресу?

9 По какой команде может быть просмотрена таблица ARP-узла?

10 В каком случае маршрутизатор в ответ на запрос посылает ARP-ответ с MAC-адресом своего входного интерфейса, на который поступил запрос?

11 Как формируются таблицы маршрутизации?

12 Что означает термин "адрес следующего перехода" (next hop)?

Практическая работа №3

Автоматическое регулирование частоты вращения синхронного генератора

Цель работы:

- изучить принципы автоматического управления приводным двигателем;
- изучить особенности автоматического регулирования частоты и активной мощности в режимах холостого хода и параллельной работы с сетью.

3.1 Общие сведения о коммутаторах

Появление коммутаторов в сетях диктовалось теми же потребностями, что и в случае мостов и маршрутизаторов, но, кроме того, необходимостью улучшения некоторых характеристик сетевого оборудования. Например, коммутаторы обладают большей пропускной способностью, что важно для интерактивного трафика между взаимодействующими рабочими станциями. В сети Ethernet коммутаторы обрабатывают полученный пакет в реальном масштабе времени, обеспечивая низкую латентность и высокую скорость коммутации [4].

В отличие от первых образцов современные коммутаторы обладают гибкой архитектурой и широкими функциональными возможностями. Они обеспечивают оперативную коммутацию пакетов с проверкой корректности данных, упрощают создание логических сетей с полным набором встроенных средств сетевого управления, в составе концентраторов с высокоскоростными переключаемыми магистральями позволяют достичь приемлемого варианта в организации сетевых соединений (например, формирования на магистрали выделенного сегмента, включающего двух конечных пользователей).

По своему назначению и функциональным возможностям современные мосты, маршрутизаторы и коммутаторы довольно близки друг к другу. Однако каждый из типов этих устройств разрабатывался не с целью вытеснения других устройств, он имеет свои области применения. Мосты обеспечивают сегментацию на физическом уровне, поэтому их «интеллектуальные» возможности ограничены. Маршрутизаторы, интегрируя физические и логические сегменты сети в единое целое, решают при этом ряд «интеллектуальных» функций, но отличаются невысокой латентностью, что негативно отражается на оперативности управления трафиком. Коммутаторы идеально приспособлены для поддержки высокопроизводительной коллективной работы. В очень крупных сетях, насчитывающих тысячи узлов, мосты и маршрутизаторы обеспечивают более эффективное управление трафиком, чем коммутаторы. В сетях с небольшим числом пользователей целесообразно применять высокоскоростную коммутацию с малым временем задержки.

3.2 Уровни коммутаторов

Для того, чтобы выбрать коммутатор, оптимально подходящий под наши нужды, нужно знать его уровень. Этот параметр определяется на основании того, какую сетевую модель OSI (передачи данных) использует устройство. Устройства первого уровня, использующие физическую передачу данных, уже практически исчезли с

рынка. Если кто-то еще помнит хабы - то это как раз пример физического уровня, когда информация передается сплошным потоком.

Уровень 2. К нему относятся практически все неуправляемые коммутаторы. Используется так называемая канальная сетевая модель. Устройства разделяют поступающую информацию на отдельные пакеты (кадры, фреймы), проверяют их и направляют конкретному девайсу-получателю. Основа распределения информации в коммутаторах второго уровня - MAC-адреса. Из них свитч составляет таблицу адресации, запоминая, какому порту какой MAC-адрес соответствует. IP-адреса они не понимают.

Уровень 3. Выбрав такой коммутатор, вы получаете устройство, которое уже работает с IP-адресами. А также поддерживает множество других возможностей работы с данными: преобразование логических адресов в физические, сетевые протоколы IPv4, IPv6, IPX и т.д., соединения rtr, rtrp, vrrp и другие. На третьем, сетевом уровне передачи данных, работают практически все маршрутизаторы и наиболее "продвинутой" частью коммутаторов.

К базовым параметрам относятся:

- количество портов. Их число варьируется от 5 до 48. При выборе коммутатора лучше предусмотреть запас для дальнейшего расширения сети;

- базовая скорость передачи данных. Чаще всего мы видим обозначение 10/100/1000 Мбит/сек - скорости, которые поддерживает каждый порт устройства. Т.е. выбранный коммутатор может работать со скоростью 10 Мбит/сек, 100 Мбит/сек или 1000 Мбит/сек. Достаточно много моделей, которые оснащены и гигабитными, и портами 10/100 Мб/сек. Большинство современных коммутаторов работают по стандарту IEEE 802.3 Nway, автоматически определяя скорость портов.

- пропускная способность и внутренняя пропускная способность. Первая величина, называемая еще коммутационной матрицей - это максимальный объем трафика, который может быть пропущен через коммутатор в единицу времени. Вычисляется очень просто: кол-во портов x скорость порта x 2 (дуплекс). К примеру, 8-портовый гигабитный коммутатор имеет пропускную способность в 16 Гбит/сек. Внутренняя пропускная способность обычно обозначается производителем и нужна только для сравнения с предыдущей величиной. Если заявленная внутренняя пропускная способность меньше максимальной - устройство будет плохо справляться с большими нагрузками, тормозить и зависать;

- автоматическое определение MDI/MDI-X. Это автоопределение и поддержка обоих стандартов, по которым была обжата витая пара, без необходимости ручного контроля соединений;

- слоты расширения. Возможность подключения дополнительных интерфейсов, например, оптических. Размер таблицы MAC-адресов. Для выбора коммутатора важно заранее просчитать необходимый вам размер таблицы, желательно с учетом будущего расширения сети. Если записей в таблице не будет хватать, коммутатор будет записывать новые поверх старых, и это будет тормозить передачу данных;

- форм-фактор. Коммутаторы выпускаются в двух разновидностях корпуса: настольный/настенный вариант размещения и для стойки. В последнем случае принят стандартный размер устройства - 19-дюймов. Специальные ушки для крепления в стойку могут быть съемными.

- управление потоком (Flow Control, протокол IEEE 802.3x). Предусматривает согласование приема-отправки данных между отправляющим устройством и коммутатором при высоких нагрузках, во избежание потерь пакетов. Функция поддерживается почти каждым свитчем. Jumbo Frame- увеличенные пакеты. Применяется для скоростей от 1 гбит/сек и выше, позволяет ускорить передачу данных за счет уменьшения количества пакетов и времени на их обработку. Функция есть почти в каждом коммутаторе [2];

- режимы Full-duplex и Half-duplex. Практически все современные свитчи поддерживают автосогласование между полудуплексом и полным дуплексом (передача данных только в одну сторону, передача данных в обе стороны одновременно) во избежание проблем в сети. Приоритезация трафика (стандарт IEEE 802.1p) - устройство умеет определять более важные пакеты (например, VoIP) и отправлять их в первую очередь. Выбирая коммутатор для сети, где весомую часть трафика будет составлять аудио или видео, стоит обратить внимание на эту функцию. Поддержка VLAN (стандарт IEEE 802.1q). VLAN - удобное средство для разграничения отдельных участков: внутренней сети предприятия и сети общего пользования для клиентов, различных отделов и т.п. Зеркалирование трафика. Для обеспечения безопасности внутри сети, контроля или проверки производительности сетевого оборудования, может использоваться зеркалирование (дублирование трафика). К примеру, вся поступающая информация отправляется на один порт для проверки или записи определенным ПО;

- перенаправление портов. Эта функция вам может понадобиться для развертывания сервера с доступом в интернет, или для онлайн-игр. Защита от "петель" - функции STP и LBD. Особенно важны при выборе неуправляемых коммутаторов. В них обнаружить образовавшуюся петлю - закольцованный участок сети, причину многих глюков и зависаний - практически невозможно. LoopBack Detection автоматически блокирует порт, на котором произошло образование петли. Протокол STP (IEEE 802.1d) и его более совершенные потомки - IEEE 802.1w, IEEE 802.1s - действуют немного иначе, оптимизируя сеть под древовидную структуру. Изначально в структуре предусмотрены запасные, закольцованные ветви. По умолчанию они отключены, и коммутатор запускает их только тогда, когда происходит разрыв связи на какой-то основной линии;

- агрегирование каналов (IEEE 802.3ad). Повышает пропускную способность канала, объединяя несколько физических портов в один логический. Максимальная пропускная способность по стандарту - 8 Гбит/сек.;

- стекирование. Каждый производитель использует свои собственные разработки стекирования, но в общем эта функция обозначает виртуальное объединение нескольких коммутаторов в одно логическое устройство. Цель стекирования - получить большее количество портов, чем это возможно при использовании физического свитча.

3.3 Простые коммутаторы с пространственным разделением

Простые коммутаторы с пространственным разделением позволяют одновременно соединять любой вход с любым одним выходом (ординарные) или несколь-

кими выходами (неординарные). Такие коммутаторы представляют собой совокупность мультиплексоров, количество которых соответствует количеству выходов коммутатора, при этом каждый вход коммутатора должен быть заведен на все мультиплексоры. Структура этих коммутаторов показана на рис. 3.1.

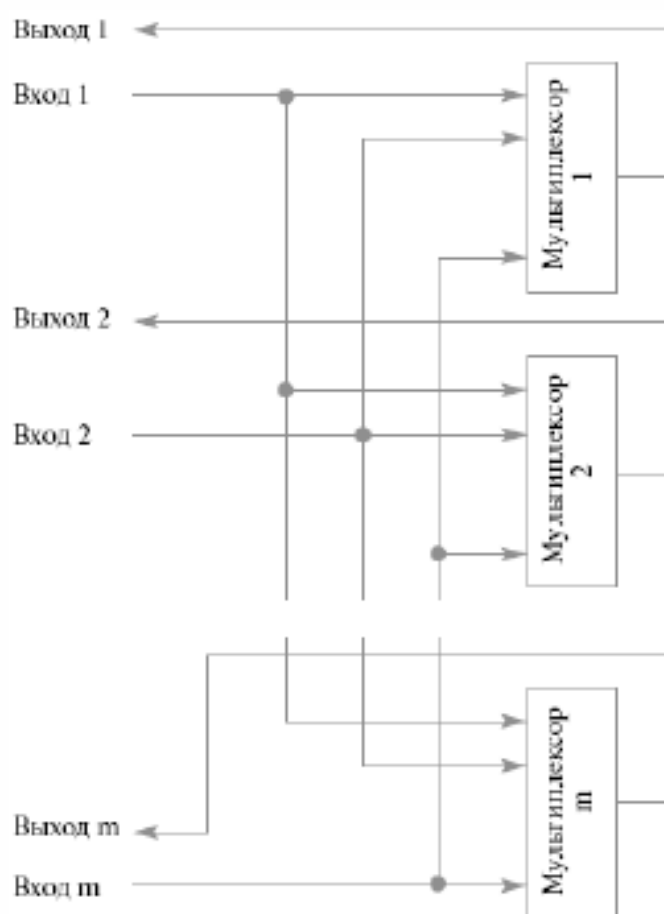


Рисунок 3. 1- Простой коммуникатор с пространственным разделением

Достоинства:

- возможность одновременного контакта со всеми устройствами;
- минимальная задержка;

Недостатки:

- высокая сложность порядка $n \times m$, где n — количество входов, m — количество выходов;
- сложность обеспечения надежности.

3.4 Составные коммутаторы

Простые коммутаторы имеют ограничения на число входов и выходов, а также могут требовать большого количества оборудования при увеличении этого числа (в случае пространственных коммутаторов). Поэтому для построения коммутаторов с большим количеством входов и выходов используют совокупность простых коммутаторов, объединенных с помощью линий "точка-точка".

Составные коммутаторы имеют задержку, пропорциональную количеству простых коммутаторов, через которые проходит сигнал от входа до выхода, т.е. чис-

лу каскадов. Однако объем оборудования составного коммутатора меньше, чем простого с тем же количеством входов и выходов.

Чаще всего составные коммутаторы строятся из прямоугольных коммутаторов 2×2 с двумя входами и выходами. Они имеют два состояния: прямое пропускание входов на соответствующие выходы и перекрестное пропускание. Коммутатор 2×2 состоит из собственно блока коммутации данных и блока управления. Блок управления в зависимости от поступающих на него управляющих сигналов определяет, какой тип соединения следует осуществить в блоке коммутации - прямой или перекрестный. При этом если оба входа хотят соединиться с одним выходом, то коммутатор разрешает конфликт и связывает с данным выходом только один вход, а запрос на соединение со стороны второго блокируется или отвергается.

3.5 Коммутатор Клоза

Коммутатор Клоза может быть построен в качестве альтернативы для прямоугольного коммутатора с $(m \times d)$ входами и $(m \times d)$ выходами. Он формируется из трех каскадов коммутаторов: m коммутаторов $(d \times d)$ во входном каскаде, m коммутаторов $(d \times d)$ в выходном и d промежуточных коммутаторов $(m \times m)$.

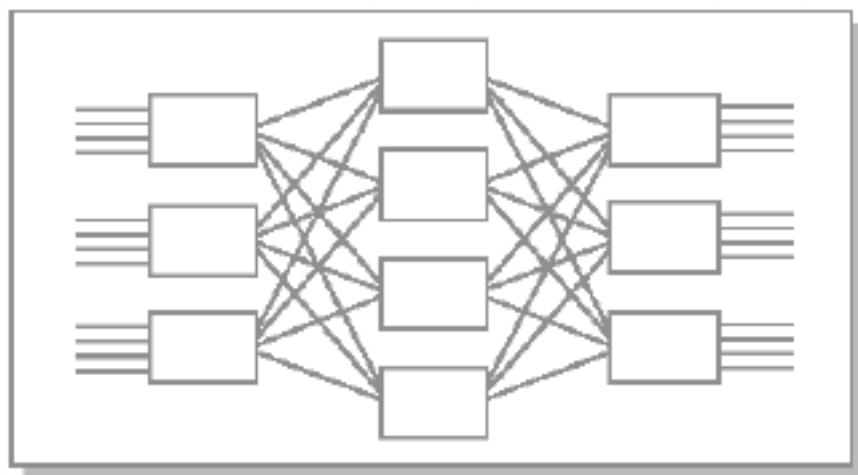


Рисунок 3.2 - Коммутатор Клоза 3 x 4

Соединения внутри коммутатора устроены следующим образом:

- j -й выход i -ого коммутатора входного каскада соединен с i -ым входом j -ого промежуточного коммутатора;
- j -й вход k -ого коммутатора выходного каскада соединен с k -ым выходом j -ого промежуточного коммутатора.

Данный тип составных коммутаторов позволяет соединять любой вход с любым выходом, однако при установленных соединениях добавление нового соединения может потребовать разрыва и переустановки всех соединений.

3.6 Задание на практическую работу №3

- 1 Произвести сравнительный анализ коммутаторов различных производителей.
- 2 Выбрать коммутаторы для локальной вычислительной сети ЦПС
- 3 Разместить коммутаторы на структурной схеме ЦПС.

3.7 Контрольные вопросы

- 1 Расскажите об уровнях коммутаторов
- 2 Расскажите простом коммутаторе с пространственным разделением
- 3 Как устроены составные коммутаторы?
- 4 Расскажите о коммутаторе Клоза
- 5 Как выбираются коммутаторы по количеству портов?
- 6 Как выбираются коммутаторы по базовой скорости передачи данных?
- 7 Расскажите об автоматическом определении MDI/MDI-X.
- 8 Расскажите о слотах расширения.
- 9 Расскажите об управлении потоком (Flow Control, протокол IEEE 802.3x).
- 10 Расскажите о режимах Full-duplex и Half-duplex.
- 11 Как выбираются коммутаторы по возможности перенаправления портов.
- 12 Расскажите об агрегировании каналов (IEEE 802.3ad).

Лабораторная работа №4

Автоматическое регулирование возбуждения синхронного генератора

Цель работы:

- изучить принципы автоматического регулирования возбуждения синхронных машин;
- изучить влияние автоматического регулирования возбуждения на предел статической устойчивости синхронного генератора.

4.1 Резервирование сети

Все существующие в данный момент технологии резервирования сетей Ethernet подразумевают такое понятие, как «время восстановления». Это означает, что в штатном режиме используется некий основной путь передачи данных, а в случае его обрыва система задействует резервный (который в штатном режиме неактивен). Тот самый промежуток простоя между определением обрыва основного пути и активацией резервного и называется «временем восстановления». При таком подходе, насколько бы быстрым ни был протокол резервирования, всегда будут незначительные потери данных в момент простоя [4].

Для современных промышленных задач вполне хватает времени до 20 мс для линий связи в 100Mb и до 50 мс для гигабитных линий (как, например, обеспечивают технологии MOXA Turbo Ring и Turbo Chain). Однако для критических задач, например, передачи данных на электрических подстанциях, даже такой промежуток простоя может оказаться слишком большим [2,4].

Единственный способ снизить время восстановления до минимального – принципиально изменить подход, и вместо использования одного активного (основного) и одного неактивного (резервного) пути передачи данных, всегда задействовать два активных пути одновременно, сходящихся в одну точку. В этом случае нет необходимости даже определять обрыв, а, следовательно, понятие «время восстановления» уходит в прошлое, поскольку при такой схеме его нет, как такового.

Именно такой подход реализован в стандартах МЭК 62439-3 пункт 4 и пункт 5 (PRP и HSR соответственно). А для плавного перехода старых устройств на новые протоколы и существует RedBox в энергетике, если на терминал РЗА не попадут вовремя данные от измерительных преобразователей, то это может быть чревато распространением короткого замыкания на смежные участки электросети, что скажется убытками гораздо более серьезными, нежели в случае своевременного отключения участка с КЗ. Поэтому часто в проектах энергетики можно встретить требование «Время восстановления менее 1 мс».

Резервирование сети на основе таких распространенных в промышленности протоколов, как RSTP, MRP, DLR и прочих подобных, основано на изменении топологии в случае возникновения какой-либо неисправности при передаче данных. Изменение топологии занимает определенное время (от миллисекунд до секунд в зависимости от протокола), которое и называется «временем восстановления». В течение этого времени связи с частью сети нет и, соответственно, данные теряются. Т.е. привычные технологии кольцевого резервирования не позволяют обеспечить время восстановления меньше 1 мс.

Ввиду этого набирают популярность технологии так называемого «бесшовного» резервирования — PRP и HSR. Резервирование на основании PRP и HSR осуществляется, в отличие от вышеобозначенных протоколов, не за счет перестроения топологии, а за счет дублирования фреймов. Каждый фрейм дублируется отправителем, и оба фрейма передаются разными путями, а принимающий узел обрабатывает фрейм, пришедший первым, и отбрасывает второй. Данный принцип работы не требует выполнения перестроения топологии и, соответственно, данный протокол действует практически «бесшовно». Под катом Вы найдете подробности реализации данных протоколов.

«Бесшовное» резервирование реализуется на конечных узлах, а не на сетевых компонентах. Это одно из самых главных отличий PRP и HSR от других протоколов резервирования, таких как RSTP или MRP. Рассмотрим особенности структуры сети для PRP и HSR.

4.2 PRP — структура сети

Конечный узел имеет два Ethernet-интерфейса, которые подключаются к двум изолированным друг от друга сетям, действующим параллельно и имеющим независимую топологию (т.е. топологии этих двух сетей могут быть как одинаковыми, так и различаться). Сети должны быть изолированными для того, чтобы любая неисправность и остановка передачи данных в одной сети не влияли на вторую, т.е. даже питание сетей осуществляется от разных источников. Никаких прямых соединений между этими сетями быть не должно.

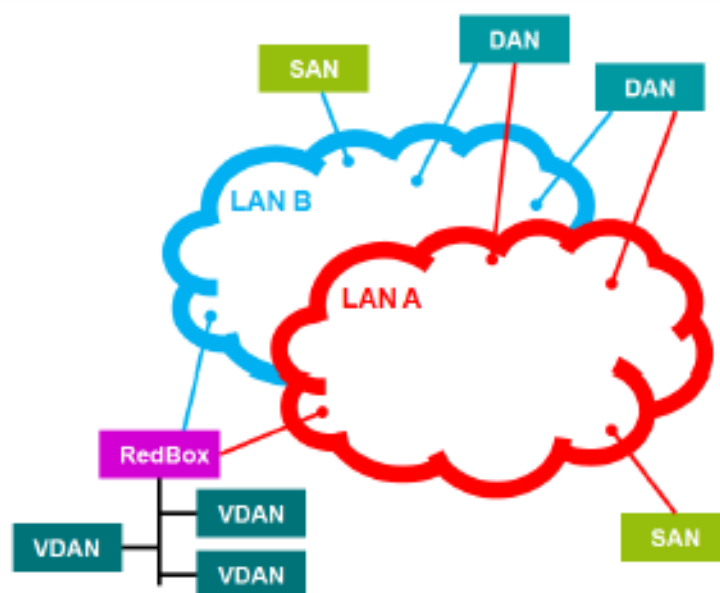


Рисунок 4.1 - Структура сети PRP

Эти две сети обычно называются LAN A и LAN B. Как уже обозначалось ранее, они могут иметь различные топологии, а также различную производительность. Задержки в передачи данных также могут различаться.

В сети могут присутствовать следующие элементы:

- DAN (Dual Attached Node) — узел, который подключается к обеим сетям и посылает/принимает дублированные фреймы;
- SAN (Single Attached Node) — узел, который подключается только к одной сети (LAN A или LAN B) и посылает/принимает обычные фреймы.

В случае, когда к RPR -сети необходимо резервировано подключить устройство, имеющее один Ethernet-интерфейс, и без поддержки протокола RPR, используется так называемый Redundancy Box (чаще RedBox). На RedBox'е пакет от устройства дублируется и передается в сеть RPR, так словно данные передаются от DAN. Более того, устройство, которое находится за RedBox'ом, видится для остальных устройств как DAN. Такой узел называется виртуальный DAN или VDAN (Virtual DAN).

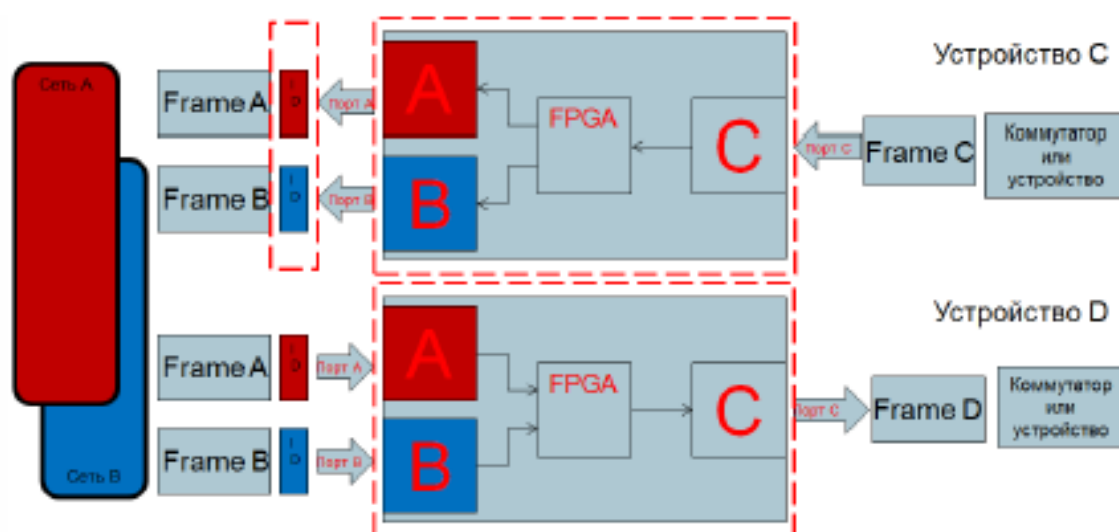


Рисунок 4.2 - Принцип работы RedBox'а

4.3 HSR — структура сети

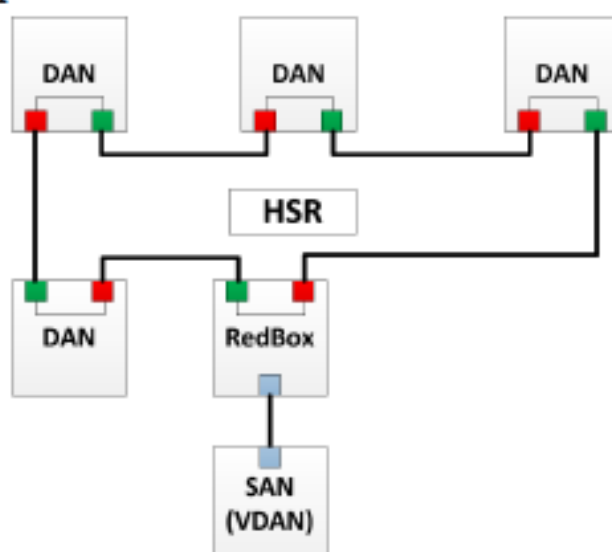


Рисунок 4.3 - Структура сети HSR

Принцип действия HSR заключается в том, что все устройства объединяются в кольцо и все сообщения, также как и в PRP, дублируются. Устройство отправляет оба фрейма через кольцо: одну копию по часовой стрелке, другую — против. Приемник получает обе копии, но обрабатывает только первую, а вторую удаляет. Если с каким-то из линков что-то случается, и один из дублированных фреймов не приходит, то просто принимается другой. Все HSR-устройства имеют два Ethernet-интерфейса — порт А и порт В. В соответствии с протоколом HSR в сети могут существовать следующие элементы:

- SAN — узел, имеющий только один Ethernet-интерфейс. Такой узел может быть подключен к HSR-сети исключительно через RedBox.

- DAN — узел, который может обмениваться данными внутри HSR-кольца (может посылать/принимать дублированные фреймы).

- RedBox — также как и в PRP RedBox позволяет подключить устройство, имеющее один Ethernet-интерфейс, к HSR-сети. Устройство, которое находится за RedBox'ом, видится для остальных устройств как DAN. Такой узел называется виртуальный DAN или VDAN (Virtual DAN).

- QuadBox – также HSR вводит один новый элемент — QuadBox. Это устройство, имеющее четыре HSR-порта. Оно позволяет объединять два HSR-кольца. В каждом кольце QuadBox выполняет роль DAN и может пересылать данные из одного кольца в другое.

4.4 PRP — структура DAN

Когда с верхнего уровня посылается фрейм, LRE дублирует его и посылает оба пакета через порты практически одновременно. Оба фрейма передаются параллельно через две сети с разными задержками. В идеальной ситуации они доставляются на узел назначения с минимальной разницей во времени. При получении LRE приемника передает на верхний уровень первый принятый фрейм, а второй отбрасывает. LRE создает дублированные фреймы при отправке и обрабатывает их при получении. Данный уровень, по отношению к верхнему уровню, представляет собой обычный интерфейс нерезервированного сетевого адаптера. LRE выполняет две задачи: обработка дублированных фреймов и управление резервированием. Для реализации управления LRE добавляет к каждому фрейму 32-битный трейлер контроля резервирования (redundancy control trailer — RCT) и удаляет его при получении фрейма.

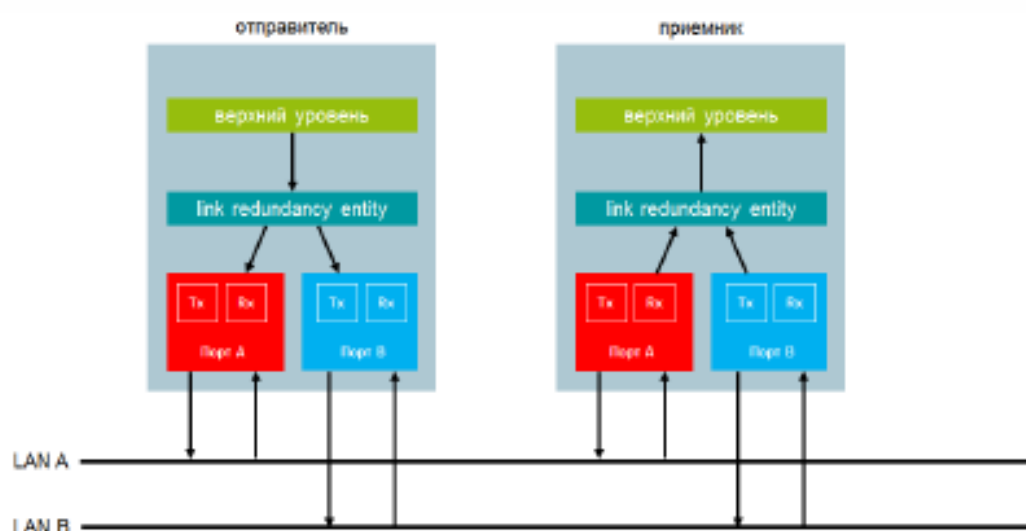


Рисунок 4. 4- Передача данных между двумя DAN в PRP

4.5 HSR — структура DAN

Фрейм, присланный с верхнего уровня, дублируется уровнем LRE, и пакеты посылаются через порт А и порт В практически одновременно. (1 и 2 на схеме). Приемник при получении фрейма передает его на уровень LRE, а также перенаправляет на другой порт и передает дальше в кольцо. (3, 4). Если фрейм приходит на отправитель, то дальше этот фрейм не передается, а уничтожается (5, 6). На уровень LRE приходят оба фрейма, но на верхний уровень передается тот, который был прислан быстрее, а дублированный фрейм отбрасывается. LRE добавляет к каждому фрейму 48-битный HSR-тег (сродни добавлению VLAN-тега) и удаляет этот тег при получении.

4.6 Контроль сети

Приемник проверяет, что все фреймы приходят последовательно и корректно принимаются на обоих каналах. Он поддерживает счетчики ошибок, которые можно прочитать, например, через SNMP. Все устройства поддерживают таблицы узлов, с которыми они обмениваются данными. В этих таблицах содержится информация о времени, когда последний фрейм был отправлен или получен от конкретного узла и другую информацию, касающуюся протокола PRP. В то же время, данные таблицы позволяют обнаружить соединения, в которых необходимо синхронизировать номера последовательности, а также обнаружить нарушенные последовательности и пропавшие узлы. Диагностика основана на том, что каждый DAN периодически посылает диагностический фрейм (supervision frame), который позволяет проверить целостность сети и наличие узлов. В то же время данные фреймы позволяют проверить какие устройства выступают в качестве DAN, определить их MAC-адреса и в каком режиме они работают — duplicate accept или duplicate discard.

Каждый узел постоянно проверяет все линки. Каждый узел периодически посылает диагностический фрейм (на оба порта), содержащий информацию о состоянии узла. Этот фрейм принимается всеми узлами, включая отправителя. Когда от-

правитель принимает собственное диагностическое сообщение, то выполняется проверка целостности физического канала. Интервал послыки диагностического фрейма сравнительно большой (несколько секунд), т.к. он не требуется для обеспечения резервирования, а нужен только для диагностических целей. Все узлы заносят в таблицу всех партнеров, которых удалось обнаружить, и регистрируют время, когда узел последний раз был активен, а также все пропущенные фреймы и фреймы, присланные не последовательно.

4.7 Задание на практическую работу №4

- 1 Произвести сравнительный анализ RedBox различных производителей.
- 2 Выбрать RedBox для локальной вычислительной сети ЦПС
- 3 Разместить RedBox на структурной схеме ЦПС.

4.8 Контрольные вопросы

- 1 Расскажите о резервировании сети.
- 2 Расскажите о «бесшовного» резервирования — PRP и HSR.
- 3 Какие структуры сети бывают?
- 4 Расскажите о PRP — структура сети.
- 5 Расскажите о HSR — структура сети.
- 6 Расскажите о PRP — структура DAN.
- 7 Расскажите о HSR — структура DAN.
- 8 Расскажите о контроле сети.

Практическая работа №5

Автоматическая синхронизация генератора с сетью

Цель работы:

– изучить принцип действия устройства точной автоматической синхронизации генератора с сетью.

5.1 Контроллеры присоединения

Общие функциональные требования [5].

Контроллер присоединения должен:

- осуществлять измерение, преобразование, сбор и обработку аналоговой и дискретной информации по присоединению от вторичных обмоток ТТ и ТН, блок-контактов первичного оборудования, контактов реле, датчиков, преобразователей;
- синхронизировать системное время по сигналам СОЕВ;
- формировать команды управления КА, РПН и другими аппаратами;
- реализовывать программные оперативные блокировки;
- обеспечивать передачу информации на верхний уровень спорадически (по апертуре), циклически и по запросу;
- обеспечивать обмен информацией с другими контроллерами присоединений, с терминалами РЗ и ПА, с устройствами АСУ ТП среднего уровня с использованием протокола IEC 61850-8-1 (MMS, GOOSE) в том числе с использованием технологии PRP. Рекомендуется (опционально) наличие возможности обеспечивать обмен информацией с устройствами АСУ ТП среднего уровня по протоколу ГОСТ Р МЭК 60870-5-104;
- принимать данные по протоколу IEC 61850-9-2 (опционально);
- обеспечивать резервное (при неисправности верхнего или среднего уровней АСУ ТП) управление КА;

5.2 Требования к конструкции

- промышленное исполнение;
- наличие графической панели управления, обеспечивающей локальную визуализацию состояния работы оборудования присоединения, управление коммутационными аппаратами, ввод/вывод и визуализацию работы блокировки, просмотр событий. При обоснованной необходимости (вместо графической панели) должна обеспечиваться возможность использования однолинейной мнемосхемы присоединения с размещенными оперативными элементами управления и индикаторами состояния присоединения;
- модульность конструкции с возможностью замены неисправного сменного элемента;
- должен применяться блочный каркас (subrack) - конструктивный блок для размещения печатных плат с установленными компонентами и вставных блоков. Вставной блок (plug-in unit) - блок, вставляемый в блочный каркас и поддерживаемый направляющими. Данные блоки могут быть различных типов, начиная от пе-

чатной платы с установленными компонентами до рамы или частичного блочного каркаса с разъемом;

- взаимозаменяемость сменных однотипных составных частей
- контроллер присоединения должен иметь дублированные модули цифрового обмена (Industrial) Ethernet в соответствии с требованиями стандарта ISO Ethernet IEEE 802.3 с поддержкой технологии резервирования PRP (опционально с поддержкой RSTP);
- удобство технического обслуживания, эксплуатации и ремонтпригодность;
- обеспечение доступа ко всем элементам, узлам и блокам, требующим регулирования или замены в процессе эксплуатации;
- охлаждение контроллера должно осуществляться за счет естественной конвекции;
- иметь в составе два резервируемых независимых блока питания ($=220\text{ В}$) с возможностью «горячей» замены (опция, обязательно с 01.01.2020);
- наличие световой индикации включения электропитания;
- наличие сигнальных дискретных выходов, не менее 2: – отсутствие питания – аварийное состояние устройства.

Общие требования к аналоговым входам - количество аналоговых входов не менее 4-х сигналов от ТТ и 4-х сигналов от ТН с возможностью установки дополнительных модулей в контроллер. Должна быть предусмотрена гальваническая изоляция аналоговых входов контроллера.

Предел основной приведенной погрешности для следующих параметров переменного тока: 1. Действующее значение напряжения фазного и межфазного 2. Действующее значение силы фазного тока 3. Мощность активная фазная и суммарная 4. Мощность реактивная фазная и суммарная 5. Мощность полная - $\pm 0,2\%$ или $\pm 0,5\%$

При размещении в обогреваемом помещении ОПУ (релейном зале ГЩУ и т.д.)- Вид климатического исполнения УХЛ 4.

Графическая панель управления должна обеспечивать локальную визуализацию состояния работы оборудования присоединения, управление коммутационными аппаратами, ввод/вывод из работы блокировки, буфер событий, логику оперативных блокировок. Человеко-машинный интерфейс контроллера присоединения должен быть русифицирован полностью. Должен быть предусмотрен графический редактор для корректировки мнемосхем, добавления или изменения мнемосимволов в соответствии с требованиями заказчика. Наличие графических библиотек мнемосимволов для отображения первичного оборудования подстанции. Мнемосхемы в части отображения мнемознаков должны соответствовать требованиям СТО 56947007-25.040.70.101- 2011 «Правила оформления нормальных схем электрических соединений подстанций и графического отображения информации посредством программно-технических комплексов» [7].

5.3 Задание на практическую работу №5

- 1 Произвести сравнительный анализ контроллеров присоединения различных производителей.
- 2 Выбрать контроллеры присоединения для локальной вычислительной сети ЦПС
- 3 Разместить контроллеры присоединения на структурной схеме ЦПС.

5.4 Контрольные вопросы

- 1 Расскажите об общих функциональных требованиях.
- 2 Расскажите о требованиях к конструкции.
- 3 Расскажите об общих требованиях к аналоговым входам.
- 4 Расскажите о требованиях к количеству аналоговых входов.
- 5 Расскажите о требованиях к пределу основной приведенной погрешности.
- 6 Расскажите о требованиях к графической панели управления.

Практическая работа №6

Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии в централизованных комплексах диспетчерского управления

Цель работы: – изучить принципы реализации системы учета электроэнергии

6.1 Аспекты работы терминалов в составе ЦПС

К внешним аспектам можно отнести [6,7]:

- обеспечение надежности доставки информации к терминалу РЗА, т.е. вопросы, касающиеся резервирования и физической сегментации шины процесса;
- ограниченная пропускная способность шины процесса, что ведет к необходимости применения логической сегментации;
- обеспечение синхронизации времени, причем к этому вопросу можно отнести как саму точность синхронизации в 1 микросекунду, так и ее бесперебойность;
- искажение сигнала или потеря пакетов данных – бороться можно только путем изменения физической топологии сети.

К внутренним проблемам можно отнести:

- определение рамок надежной работы алгоритма защиты при искажении входного сигнала или потере пакетов данных, что в свою очередь выразилось в появлении новых уставок в терминалах РЗА и ряде рекомендаций от разработчиков;
- адаптация существующего алгоритма терминала под цифровую подстанцию.

6.2 Обеспечение надежности доставки информации к терминалу

В шине процесса существуют два типа данных: измерения в формате SV value и телеуправления/сигнализаций в формате GOOSE-сообщений. Измерения передаются с определенной частотой (80 выборок за период) и представляют собой постоянную нагрузку сети. GOOSE-сообщения генерируются по изменению состояния дискретных сигналов и представляют собой спорадическую нагрузку шины процесса. Первое техническое решение, которое было принято для повышения надежности, – разделить шину процесса на два сегмента: сегмент 1 «измерения» и сегмент 2 «GOOSE».

Второй момент касался резервирования. Для двух сегментов шины процесса были приняты различные решения. В случае GOOSE-сегмента, мы имеем единое устройство DMU в ячейке, которое осуществляет управление выключателем. Все цифровые устройства уровня ячейки (терминалы РЗА, контроллеры) осуществляют управление через DMU. В силу этого, надежность такого устройства должна быть максимальна. Исходя из этих соображений, в каждой ячейке устанавливаются два DMU-модуля, работающих в резервированном варианте, и при этом сегмент шины процесса также резервируется с применением протокола PRP. Сегмент измерений не требует резервирования на уровне каналов связи, т.к. резервируются конечные устройства (основная и резервная защита).

6.3 Ограниченная пропускная способность шины процесса

В соответствии с действующей редакцией стандарта МЭК 61850, шина процесса базируется на сети Ethernet 100 Мбит/с. Учитывая, что поток мгновенных значений (SV stream 80 выборок/период) соответствует загрузке порядка 5-6 Мбит. Таким образом, по одному подключению 100 Мбит/с может быть передано не более 6-7 Мбит потоков мгновенных значений, что приводит к необходимости применения логической сегментации сети и накладывает определенные ограничения на реализацию систем дифференциальной защиты и системы ДЗШ в частности. Исходя из этого, важную часть рабочей документации будут составлять таблицы маршрутизации для конфигурирования VLAN и организации правильной логической сегментации.

6.4 Синхронизация времени

Протокол МЭК 61850 требует обеспечить синхронизацию времени с точностью в одну микросекунду. Возможны несколько протоколов синхронизации времени (IEEE 1588 v2, 1PPS), которые обеспечивают требуемую точность в шине процесса. При этом терминалы РЗА, как правило, ориентированы на синхронизацию по протоколу 1PPS. Таким образом, при реализации распределенной цифровой схемы ДЗШ требуется обеспечить надежность разветвленной системы синхронизации и организовать ее резервирование.

Отдельный момент связан с обеспечением надежности работы системы синхронизации времени. В силу программных ограничений, распределенная цифровая ДЗШ может работать только в режиме глобальной синхронизации, т.е. от единого источника точного времени. Дополнительно в районе строительства подстанции есть определенные проблемы с GPS/GLONASS-антеннами, которые периодически выходят из строя в силу наличия неподалеку аэропорта. Отсюда система синхронизации базируется на цезиевом генераторе, как основном источнике времени, и на системе GPS/GLONASS, как вспомогательном [7].

6.5 Искажение сигнала или потеря пакетов данных

Максимально эффективный способ борьбы заключается в организации подключения АМУ и терминала РЗА по идеологии «точка-точка», но в этом случае теряется ряд преимуществ, которые дает применение шины процесса. В силу этого, были проведены тесты, которые показали, что наиболее чувствительным типом защит к такого рода задержкам является распределенная ДЗШ. В силу этого, при ее реализации было применено подключение «точка-точка», все остальные типы защит получают информацию из шины процесса.

6.6 Определение рамок надежной работы алгоритмов

Разработчиками наших терминалов было оценено влияние возможной потери пакетов или задержки их поступления на работоспособность алгоритма работы тер-

миналов и в частности ДЗШ. Было установлено, что в случае применения алгоритма ДЗШ, основанного на анализе «мгновенных значений», накладываются жесткие требования на максимальную задержку в поступлении пакетов измерений в 20 мкс, что автоматически требует подключения «точка-точка» к устройствам сопряжения.

Дополнительно стало очевидно, что избежать таких явлений при реализации цифровой подстанции не получится. В силу чего в состав терминалов были введены дополнительные уставки. Причем эти уставки актуальны для терминалов РЗА, которые работают с несколькими логическими узлами (дифференциальные). Грубо говоря, для максимальной токовой защиты не критично рассогласование поступления нескольких информационных потоков SV.

Merge Unit delay – для защит, принимающих несколько потоков данных; показывает максимально возможное рассогласование поступающих потоков;

Опция MUs Delay Search – если заданием соответствующей уставки пользователь инициализирует процесс поиска (MUs Delay Search = Yes), то реле в течение следующих двух секунд начинает отслеживать и выводить на индикацию максимальную обнаруженную задержку между приемом фреймов с идентичным подсчетом выборок;

Loss Rate Level – расчет степени потерь фреймов ('Frame Loss Rate') выполняется в реле каждую секунду для каждого SV-потока, с которым оно поддерживает связь, а затем полученное значение сравнивается с уставкой Loss Rate Level. Если степень потери фреймов ниже заданной уставки, то алгоритм реле разрешает потере сети в течение трех последовательных выборок. Если величина потерь фреймов превышает заданную уставку или если потеря сети продолжается более чем 3 последовательных фрейма значений выборок, то это будет иметь тот же эффект, как и метки (теги) недостоверных данных (Invalid), присвоенные фреймам значений выборок; соответствующие функции защиты будут временно запрещены;

Сигнализация снижения качества или 9-2 Sample Alarm – сигнал, указывающий на выполнение одного или нескольких условий, связанных с контролем качества фреймов значений выборок и их синхронизации. Сигнал выдается, если выполняется одно из перечисленных ниже условий:

- один или более полученный фрейм значений выборок не синхронизирован, как это требуется конфигурацией реле;
- один или более ожидаемый фрейм значений выборок не получен;
- один или более полученный фрейм значений выборок имеет идентификатор низкого качества ('invalid');
- один или более полученный фрейм значений выборок имеет идентификатор сомнительного качества ('questionable'), а реле сконфигурировано не воспринимать такие фреймы значений выборок;
- один или более принятый фрейм значений выборок имеет флаг теста, а реле сконфигурировано на запрет защит при приеме фреймов с флагом теста;
- один или более принятый фрейм значений выборок имеет флаг теста, а реле сконфигурировано на прием только фреймов с флагом теста;
- принятые значения выборок имеют номинальную частоту, отличную от установленной в реле.

6.7 Адаптация существующего алгоритма терминала под цифровую подстанцию

Очевидно, что применение традиционной схемы организации цепей ТН неэффективно, и необходимо ее в корне менять. В результате во всех устройствах шины процесса был реализован механизм переключения между потоками мгновенных значений. Это позволило при необходимости разводить цепи на каждый AMU-модуль.

Например, при применении схемы «две секции шин», значения напряжения будут поступать с шинных ТН. Причем возможны переключения с одной системы шин на другую, что потребует от терминалов РЗА получать поток данных либо с одного, либо с другого шинного ТН. Таким образом, терминал РЗА должен иметь возможность динамически переключаться между потоками мгновенных значений, генерируемых устройствами сопряжения, установленными на ТН1 и ТН2.

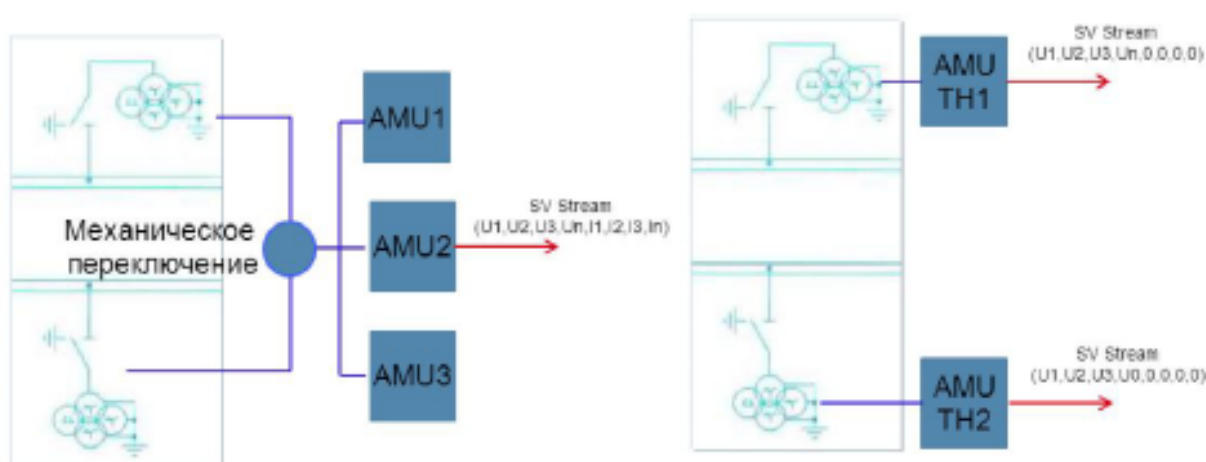


Рисунок 6.1 - Переключения между потоками мгновенных значений

Максимально сильное влияние адаптация под цифровую подстанцию оказала на реализацию системы ДЗШ, что вылилось в необходимость применения разных схем ДЗШ для разных классов напряжения, жесткие ограничения по способу подключения AMU-модулей, а также схеме синхронизации времени. К терминалу ДЗШ предъявляются жесткие требования по быстродействию и отсутствию ложной работы. При этом он по определению получает измерения от нескольких источников и, соответственно, сталкивается с проблемами искажения входного сигнала. В силу этого, более подробно остановлюсь на особенности организации цифровой системы РЗА по ПС Надежда.

Отдельным сложным моментом при реализации цифровой РЗА стала организация схемы синхронизации времени. Для традиционной распределенной схемы ДЗШ оцифровка значений тока производится на уровне периферийных модулей, которые в свою очередь синхронизируются с центрального модуля. В силу этого, ситуация с рассинхронизацией крайне маловероятна.

При реализации цифровой распределенной ДЗШ оцифровка измерений производится на уровне AMU-модулей, которые не могут быть синхронизированы с цен-

трального модуля. В силу этого, каждый AMU-модуль должен быть привязан к единому времени. Причем чтобы избежать ложной работы для распределенной дифференциальной защиты введено условие, что она может работать только в режиме «глобальной» синхронизации. Напомню, что кадры SV stream включают в себя биты признаков качества, одним из которых является бит типа синхронизации. Он может иметь следующие состояния: глобальная синхронизация от GPS, локальная синхронизация от локального источника времени, без синхронизации.

Такие жесткие требования по организации синхронизации времени, а также наличие неподалеку от подстанции аэропорта, обуславливающего проблемы с GPS/GLONASS-синхронизацией, привели к необходимости применения по проекту уникальной схемы синхронизации времени в составе:

- сновным источником времени является цезиевый генератор;
- вспомогательным – оборудование Lantime M900 Майнберг, которое может синхронизироваться по GPS/GLONASS-антенне;
- разветвители оптического 1PPS сигнала, которые позволяют осуществить синхронизацию всех AMU модулей и терминалов РЗА по всей подстанции.

В результате реализации данной схемы синхронизации, все оборудование на подстанции получает резервированный источник единого времени, что обеспечивает независимость подстанции от внешних синхронизаторов времени.

6.8 Задание на практическую работу №6

- 1 Произвести сравнительный анализ терминалов защиты различных производителей.
- 2 Выбрать терминалов защиты для локальной вычислительной сети ЦПС
- 3 Разместить терминалов защиты на структурной схеме ЦПС.

6.9 Контрольные вопросы

- 1 Как обеспечивается надежность доставки информации к терминалу?
- 2 Как производится резервирование пропускная способность шины процесса?
- 3 Как производится синхронизация времени?
- 4 Как устранить искажение сигнала или потерю пакетов данных?
- 5 Расскажите об обеспечении надежной работы алгоритмов.
- 6 Расскажите об адаптации существующего алгоритма терминала под цифровую подстанцию.

Список литературы

Основная

1. Смурнов, Е.С. Автоматизация и диспетчеризация систем электроснабжения / Е.С. Смурнов. – Москва : Лаборатория книги, 2010. – 101 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=86340>
2. Богданов, А.В. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматизации в электроэнергетических системах / А.В. Богданов, А.В. Бондарев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет, Кумертауский филиал ОГУ. – Оренбург : ОГУ, 2016. – 82 с. : схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481747>
3. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС). Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.10.248, 2017. http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.10.248-2017.pdf

Дополнительная:

1. Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы / И.А. Елизаров, А.А. Третьяков, А.Н. Пчелинцев и др. ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 160 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444643>
2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847>

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «УСТРОЙСТВО ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

Введение

- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Устройство цифровых подстанций»
- 2 План-график выполнения самостоятельной работы
- 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
- 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
- 5 Список рекомендуемой литературы.

ВВЕДЕНИЕ

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

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

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

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

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «УСТРОЙСТВА ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ»

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

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

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

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

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины «Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах» предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- выполнение контрольной работы
- выполнение индивидуальных творческих заданий.

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

Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

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

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в	ИД-2 _{ПК-1} Выбирает типовые проектные	Знает цифровые протоколы связи, источники и

проектировании систем электроснабжения	решения систем электроснабжения	закономерности движения и преобразования информационных потоков в современных цифровых системах управления объектами электроэнергетики. Умеет использовать возможности микропроцессорных устройств и интеллектуальных электронных устройств для реализации стандартных задач управления, учета и мониторинга.
--	---------------------------------	--

2 ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Технологическая карта самостоятельной работы студента

Коды реализуемых копетенций (индикатора)	Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
				СРС	Контактная работа с преподавател ем	Всего
8 семестр ОФО						
ПК-1 ИД-2ПК-1	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-5	Конспект	Собеседован ие	23,22	2,58	25,8
	Подготовка к практическим работам	Отчет (письменный)	Собеседован ие	6,48	0,72	7,2
Итого за 8 семестр				29,7	3,3	33
Коды реализуемых копетенций (индикатора)	Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
				СРС	Контактная работа с преподавате лем	Всего
8 семестр ЗФО						
ПК-1 ИД-2ПК-1	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-5	Конспект	Собеседова ние	76,68	8,52	85,2
	Подготовка к практическим работам	Отчет (письменный)	Собеседова ние	1,62	0,18	1,8
Итого за 8 семестр				78,3	8,7	87

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ И ВИДЫ ОТЧЕТНОСТИ ПО НИМ

В рамках рейтинговой системы успеваемость студентов по каждой дисциплине оценивается в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

При проведении текущего контроля рейтинговая оценка знаний студента оценивается следующим образом:

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
8 семестр			
1.	Лабораторное занятие № 4 Автоматическое регулирование возбуждения синхронного генератора	3 неделя	10

2.	Лабораторное занятие № 5 Автоматическая синхронизация генератора с сетью	4 неделя	15
3.	Лабораторное занятие № 6 Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии в централизованных комплексах диспетчерского управления.	5 неделя	15
	Итого за 4 семестр		55
	Итого		55

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

<i>Уровень выполнения контрольного задания</i>	<i>Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)</i>
<i>Отличный</i>	<i>100</i>
<i>Хороший</i>	<i>80</i>
<i>Удовлетворительный</i>	<i>60</i>
<i>Неудовлетворительный</i>	<i>0</i>

Типовые контрольные задания и иные материалы, характеризующие этапы формирования компетенций

Вопросы для собеседования

1. В чём суть концепции Smart Grid?
2. Назовите основные цели Smart Grid.
3. Оценка эффективности внедрения концепции Smart Grid (интеллектуальные системы).
4. Анализ зарубежного опыта использования основных технологий и компонентов Smart Grid (интеллектуальные системы) и возможности его реализации в России.
5. Назовите отличительные черты цифровой подстанции
6. Каким образом обеспечение скорости передачи данных
7. Поясните использование концепции шины процесса
8. Поясните, каким образом достигается синхронизация всех выборок и принимающее устройство может обрабатывать значения токов и напряжений, принятые от разных устройств?
9. Перечислите устройства являющиеся технической основой FACTS.
10. Назовите контролируемые параметры сети для различных устройств FACTS.
11. Какие элементы FACTS используются на объектах ЕНЭС для управления режимами?
12. Принципиальные подходы к развитию и организации работ по реализации концепции SmartGridв России.
13. Анализ основных характеристик Российской электроэнергетики и сетей в сравнении с другими странами.
14. Предпосылки перехода к стратегии модернизации и инновационного развития и оценка условий реализации концепции SmartGridв электроэнергетике России.
15. Сравнительный анализ энергосистем России и других стран.
16. Визуализация инцидентов и неисправностей в умных сетях.
17. Изучение новых информационно-технологических инфраструктур и передовых интернет технологий.
18. Передача сигналов управления и действующих значений для систем
19. Усовершенствованные методы управления системами электроснабжения.
20. Основные аспекты модернизации и развития электроэнергетики в России и за рубежом.

Вопросы к экзамену

1. Что является технической/технологической основой Smart Grid?
2. Назовите основные компоненты коммуникационных технологий в «интеллектуальной сети».
3. Технологический базис концепции развития электроэнергетики на базе SmartGrid (интеллектуальные системы).
4. Охарактеризуйте протокол МЭК 60870-5.

5. Охарактеризуйте протокол Modbus.
6. Назначение и принцип действия протокола Ethernet.
7. Назначение и принцип действия протокола IP.
8. Требования к цифровой системе измерения тока и напряжения для нужд РЗА.
9. Требования к цифровой системе управления и автоматики уровня подстанции.
10. Поясните схема использования протоколов МЭК 61850
11. Охарактеризуйте ПРОТОКОЛ MMS
12. Охарактеризуйте ПРОТОКОЛ GOOSE
13. Оптические трансформаторы тока
14. Электронно-оптические трансформаторы тока
15. Оптические трансформаторы напряжения
16. Электронно-оптические трансформаторы напряжения
17. Перечислите достоинства концепции «сильных сетей» на основе технологии FACTS для российской энергетики.
18. Назовите преимущества применения оптических трансформаторов
19. Интеллектуальные информационные системы.
20. Усовершенствованные интерфейсы и методы поддержки принятия решений.
21. Состав программного обеспечения ЦП
22. Состав документации на ЦП
23. Автоматизация проектирования
24. САПР цифровой подстанции
25. Стандарт МЭК 61850. Назначение. Протоколы стандарта.
26. Особенности применения протокола Ethernet в стандарте МЭК 61850.. Принципы резервирования.
27. Передача мгновенных значений тока и напряжения в стандарте МЭК 61850.. Протокол Sampled Values.
28. Передача сигналов управления и действующих значений в стандарте МЭК 61850. Протокол GOOSE.
29. телеизмерения и телеуправления в стандарте МЭК 61850. Протокол MMS.
30. Синхронизированные векторные измерения. Измерения угла передачи. Стандарт IEEE C37.118
31. Стандарт на цифровую подстанцию МЭК 61850
32. Экономические показатели ЦП
33. Цифровые протоколы связи.
34. Измерительные приборы и устройства, средства передачи данных, линии связи и каналы связи.
35. Измерительные приборы и устройства.
36. Интеллектуальные электронные устройства (ИЭУ, IED)
37. Информационная структура ЦП, схемы, состав оборудования
38. Технические показатели ЦП
39. Аппаратные особенности силового оборудования ЦП
40. Интегрированные коммуникации-усовершенствованная конфигурация сети
41. Технология гибких линий.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

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

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

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

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного

понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

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

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

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

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

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

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

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

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

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

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

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

Составление конспектов

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

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

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

4. Смурнов, Е.С. Автоматизация и диспетчеризация систем электроснабжения / Е.С. Смурнов. – Москва : Лаборатория книги, 2010. – 101 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=86340>
5. Богданов, А.В. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматизации в электроэнергетических системах / А.В. Богданов, А.В. Бондарев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет, Кумертауский филиал ОГУ. – Оренбург : ОГУ, 2016. – 82 с. : схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481747>
6. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС). Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007- 29.240.10.248, 2017. http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.10.248-2017.pdf

Дополнительная:

1. Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы / И.А. Елизаров, А.А. Третьяков, А.Н. Пчелинцев и др. ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 160 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444643>

2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет. – Оренбург : ОГУ, 2016. – 111 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847>