



Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Электроснабжение»

Д. И. Зализный

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

**КУРС ЛЕКЦИЙ
по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-43 01 02
«Электроэнергетические системы и сети»
дневной формы обучения**

Гомель 2011

УДК 621.311.1-52(075.8)
ББК 31.279-05я73
3-23

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 29.03.2011 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Промышленная электроника» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *Ю. В. Крышнев*

Зализный, Д. И.

3-23 Автоматизация электрических сетей : курс лекций по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» днев. формы обучения / Д. И. Зализный. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011. – 90 с. – Систем. требования: РС не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены принципы функционирования микроэлектронных и микропроцессорных устройств автоматики и телемеханики в электрических сетях.

Для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» дневной формы обучения.

УДК 621.311.1-52(075.8)
ББК 31.279-05я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2011

ВВЕДЕНИЕ

Предметом изучения дисциплины «Автоматизация электрических сетей» являются принципы функционирования и построения, а также алгоритмы работы средств для автоматизации процессов в электроэнергетических сетях.

Цель изучения дисциплины – научить студентов в процессе проектирования и эксплуатации электрических сетей осуществлять правильный выбор электронных и электромеханических средств автоматизации, а также составлять технические задания по изготовлению этих средств.

Основными задачами дисциплины являются:

- изучение принципов работы электронных устройств автоматизации и управления;
- изучение принципов работы релейной автоматизации;
- изучение принципов работы автоматизированных систем контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ);
- изучение принципов работы автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ);
- изучение принципов работы SCADA- систем;
- изучение принципов проектирования технических заданий по изготовлению электронных устройств для автоматизации электрических сетей.

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- теорию цифровой обработки сигналов и передачи данных на расстояние;
 - функциональные возможности электронных устройств для автоматизации электрических сетей;
 - типовые схемы АСКУЭ и АСДУ;
- должен уметь:
- проектировать АСКУЭ и АСДУ электрических сетей;
 - проектировать технические задания по изготовлению электронных устройств для автоматизации электрических сетей;

должен владеть:

навыками монтажа устройств АСКУЭ и АСДУ.

Дисциплина базируется на ранее изученных дисциплинах: «Электроника и информационно-измерительная техника», «Электрическая часть станций и подстанций», «Релейная защита и автоматизация», «Электроэнергетические системы и сети».

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Электроэнергетические сети (далее просто «электрические сети») структурно состоят из средств передачи электроэнергии, вспомогательных средств и средств автоматизации. Средствами передачи электроэнергии являются линии электропередачи (ЛЭП) и силовые трансформаторы. Вспомогательные средства – это конструктивные элементы (опоры, изоляторы, корпуса, и другие), а также элементы, повышающие эффективность и надёжность передачи электроэнергии (реакторы, силовые конденсаторы, сопротивления, и другие). К средствам автоматизации можно отнести силовые коммутационные аппараты (высоковольтные выключатели, отделители, короткозамкатели, разъединители, выключатели нагрузки, реклоузеры), а также средства, обеспечивающие работу этих аппаратов, средства телемеханики и автоматизированные системы контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ).



Рис. 1.1. Обобщённая структурная схема системы автоматизации электрической сети

Средства автоматизации электрических сетей позволяют решить следующие задачи:

- защиту электрических сетей от аварийных режимов;
- своевременное включение резервного питания потребителей;
- вывод отдельных элементов сетей в ремонт;
- перераспределение потоков мощности между источниками электроэнергии и её потребителями для поддержания требуемых режимов сети;
- автоматический учёт потребляемой и генерируемой электроэнергии.

На рис. 1.1 приведена обобщённая структурная схема системы автоматизации электрической сети.

На этой схеме силовые коммутационные аппараты показаны как часть электрической сети. Кроме них в систему автоматизации электрической сети входят средства измерения, средства управления, АСКУЭ, средства телемеханики и пульт диспетчерского управления.

Средства измерения – это, как правило, измерительные трансформаторы напряжения и тока, а также электронные измерительные преобразователи с телеметрическим выходом.

Средства управления – это устройства, получающие информацию от средств измерения и средств телемеханики и непосредственно воздействующие на цепи управления силовыми коммутационными аппаратами. В состав средств управления входят устройства релейной защиты и автоматики.

АСКУЭ осуществляет автоматический учёт потребляемой и генерируемой электроэнергии на требуемом участке электрической сети, взаимодействуя со средствами телемеханики.

Средства телемеханики – это набор устройств для передачи данных и команд на некоторое расстояние с целью обеспечения дистанционного взаимодействия различных элементов, входящих в состав системы автоматизации электрической сети, между собой и с пультом диспетчерского управления.

Пульт диспетчерского управления – это устройство для обеспечения дистанционного воздействия на электрическую сеть специально обученного человека – диспетчера.

Все перечисленные элементы системы автоматизации электрических сетей за исключением силовых коммутационных аппаратов и средств измерения могут быть трёх видов: электромеханические, микроэлектронные и микропроцессорные. Электромеханические устройства состоят из электромеханических реле, резисторов, конденсаторов и других пассивных компонентов электротехники. Микроэлек-

тронные устройства создают на базе аналоговых и цифровых интегральных микросхем малой и средней степени интеграции. В состав микропроцессорных устройств входят микроконтроллеры – универсальные программируемые интегральные микросхемы сверхбольшой степени интеграции. Все эти устройства имеют определённые достоинства и недостатки, что будет рассмотрено далее.

Подробное рассмотрение силовых коммутационных аппаратов, средств измерения и электромеханических элементов автоматизации электрических сетей не входит в программу данного курса. Эти элементы изучались на специальных дисциплинах: «Электроника и информационно-измерительная техника», «Электрическая часть станций и подстанций», «Релейная защита и автоматика».

Таким образом, основная область изучения дисциплины «Автоматизация электрических сетей» - это электронные устройства, на основе которых строят современные элементы автоматизации сетей.

2. ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

2.1. Причины помех и способы борьбы с ними

Большинство электронных устройств, применяющихся для автоматизации электрических сетей, работают в условиях значительных электромагнитных помех из-за высоких напряжённостей электрического и магнитного полей возле силовых элементов электрических сетей. Дополнительным источником помех являются грозовые и коммутационные перенапряжения в электрических сетях.

Грозовые перенапряжения обусловлены следующими факторами:

- при непосредственном ударе молнии в линию из-за протекания разрядного тока;
- при косвенном ударе молнии (внутри облака, между облаками, или в находящиеся вблизи объекты) образующиеся электромагнитные поля индуцируют напряжения или токи в линиях;
- при ударе молнии в грунт разрядный ток, протекая по земле, может создать разность потенциалов в системе заземления.

Коммутационные перенапряжения обусловлены следующими факторами:

- переключениями в мощных системах электроснабжения, например, коммутацией конденсаторных батарей;
- переключениями в системах электроснабжения малой мощности или изменениями нагрузки в электрических распределительных системах;
- резонансными колебаниями в электрических сетях, обусловленными работой таких переключающих приборов, как тиристоры;
- повреждениями в системах, такими как короткие замыкания на землю и дуговые разряды в электрических установках.

Существуют следующие виды помех, воздействующих на электронные устройства:

- помехи, проникающие по цепям измерения;
- помехи, проникающие по цепям питания;
- помехи, проникающие по цепям линий связи;
- помехи, проникающие по воздуху посредством радиоволн.

Все эти виды помех могут привести к ложным срабатываниям электронных устройств, их несрабатываниям, или даже вывести уст-

ройства из строя. Рассмотрим подробнее причины влияния помех на работу устройств и способы борьбы с ними.

Измеряемые в электрических сетях напряжения и токи подаются на измерительные цепи электронных устройств, как правило, через измерительные трансформаторы напряжения и тока, имеющие ёмкости изоляции между первичными и вторичными обмотками, и через контрольные кабели, проложенные параллельно силовым кабелям, где также имеют место паразитные ёмкости. Высокочастотные составляющие импульсных помех проникают через ёмкости изоляции в измерительные цепи устройства, влияя на его работу. Для снижения этого влияния применяют следующие меры:

- используют промежуточные трансформаторы, обмотки которых секционируют, а между обмотками помещают электростатический экран в виде медной фольги или намотки одного слоя тонкого провода, которые заземляются;
- входные цепи устройства шунтируют варисторами и безиндуктивными конденсаторами;
- во входных преобразовательных устройствах применяют интегрирующие цепи и частотные фильтры с целью искусственного снижения быстродействия функциональных элементов устройства, то есть принимают компромиссное решение между быстродействием и помехоустойчивостью.

Ёмкости изоляции являются также причиной проникновения импульсных помех по цепям питания электронных устройств. Наиболее негативное влияние такие помехи оказывают на работу цифровых интегральных микросхем, в том числе и микропроцессорных. В блоках питания от переменного напряжения для борьбы с этим видом помех используют входные заграждающие фильтры. Наиболее распространённая схема такого фильтра приведена на рис. 2.1. Эта схема применяется в подавляющем большинстве блоков питания современных электронных устройств как промышленного, так и бытового назначения.

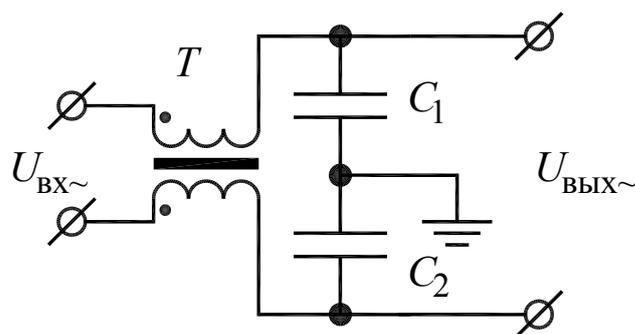


Рис. 2.1. Схема фильтра питания

Схема состоит из последовательно включенного трансформатора T с коэффициентом трансформации, равным единице, и конденсаторов C_1 и C_2 с равными ёмкостями. Импульсная помеха, создающая ток во входной цепи, трансформируется с обратным знаком в противоположную обмотку трансформатора, а затем обратно за счёт ЭДС самоиндукции. Таким образом, ЭДС индукции в обмотках трансформатора взаимно вычитаются, препятствуя протеканию тока на частоте помехи. Конденсаторы дополнительно отфильтровывают высокочастотные составляющие помехи на землю.

Помехи, проникающие по цепям линий связи, обусловлены ёмкостью изоляции жила-оболочка сигнального кабеля. Для снижения значения этой ёмкости применяют экранирование кабелей в виде медной оплётки, охватывающей изоляцию жилы. Экран разбивает ёмкость изоляции на две ёмкости, включенные последовательно, что, соответственно, снижает суммарную ёмкость.

Помехи, проникающие по воздуху посредством радиоволн, обусловлены тем, что все проводники и провода печатной палаты электронного устройства действуют как приёмные антенны, в которых индуцируется ЭДС, что приводит к сбоям в работе устройства. Борьба с этим видом помех наиболее сложна. Самый распространённый способ – экранирование корпуса прибора. Как правило, корпуса электронных устройств для автоматизации электрических сетей выполняются из металла – алюминия или стали. Сталь более предпочтительна, так как, являясь магнитным материалом, она экранирует и электрическую и магнитную составляющие электромагнитного поля. Алюминий же экранирует только электрическую составляющую. При этом корпус прибора должен иметь минимум отверстий, через которые может проникнуть внешнее поле.

2.2. Испытания на помехоустойчивость

Все промышленные электронные устройства проходят испытания на помехоустойчивость в соответствии с МЭК (IEC) 61000-4 (ГОСТ Р 51317.4). Основные виды испытаний:

- устойчивость к электростатическим разрядам (МЭК 61000-4-2);
- устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю (МЭК 61000-4-3);
- устойчивость к наносекундным импульсным помехам (МЭК 61000-4-4);
- устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии (МЭК 61000-4-5);
- устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания (МЭК 61000-4-11);
- устойчивость к колебательным затухающим помехам (МЭК 61000-4-12).

Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам проводятся в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2.2.

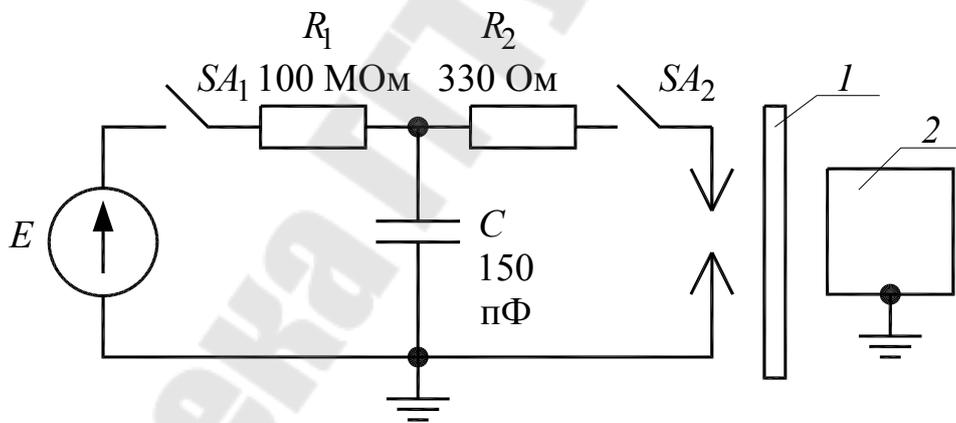


Рис. 2.2. Схема испытаний на устойчивость к электростатическим разрядам: 1 – изоляционная прокладка; 2 – испытуемое устройство

Источник высоковольтного постоянного напряжения E с помощью ключа SA_1 через резистор R_1 подключается к конденсатору C , заряжая его. Затем ключ SA_1 размыкается и замыкается ключ SA_2 , создавая разряд между пластинами. При этом фиксируют требуемые параметры испытуемого устройства и делают вывод о его устойчивости к электростатическим разрядам. Значение напряжения E может

составлять 2 кВ для 1 класса жёсткости испытаний и 4 кВ для 4 класса жёсткости испытаний.

Схема испытательной установки для испытаний на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю приведена на рис. 2.3.

Испытания проводят в экранированном помещении модулированным и немодулированным радиочастотным сигналом в полосах частот от 800 до 960 МГц и от 1,4 до 6 ГГц при напряжённости поля 120 мкВ/м для 1 класса жёсткости испытаний и 150 мкВ/м для 4 класса жёсткости испытаний.

Схема испытаний на устойчивость к наносекундным импульсным помехам приведена на рис. 2.4.

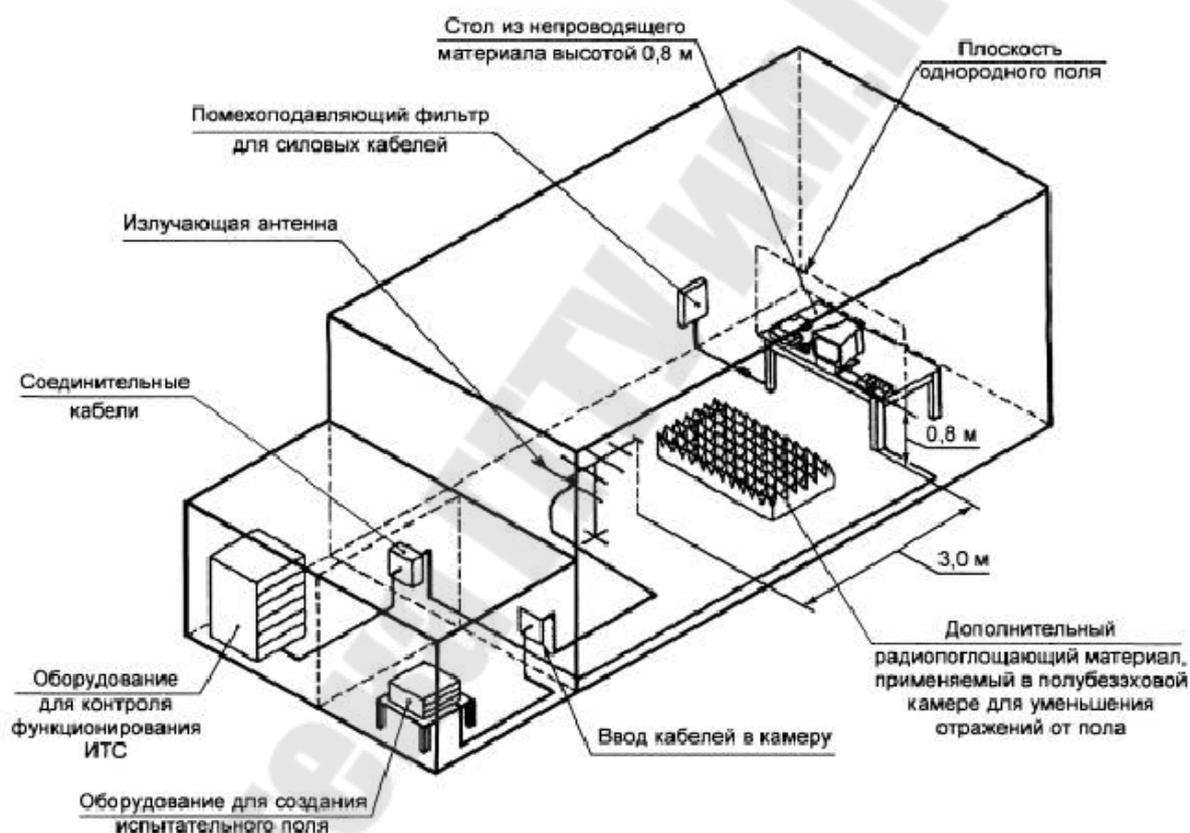


Рис. 2.3. Схема испытательной установки на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю

Источник высоковольтного постоянного напряжения E подключен к зарядному резистору R_1 и накопительному конденсатору C_1 . В требуемые моменты времени с помощью блока управления $БУ$ замыкается электронный ключ VT , разряжая конденсатор C_1 на резистор цепи формирования длительности импульса R_2 . При этом на требуемый вход испытуемого устройства $ИУ$ через согласующий резистор

R_3 и разделительный конденсатор C_2 подаётся короткий импульс длительностью около 10 нс.

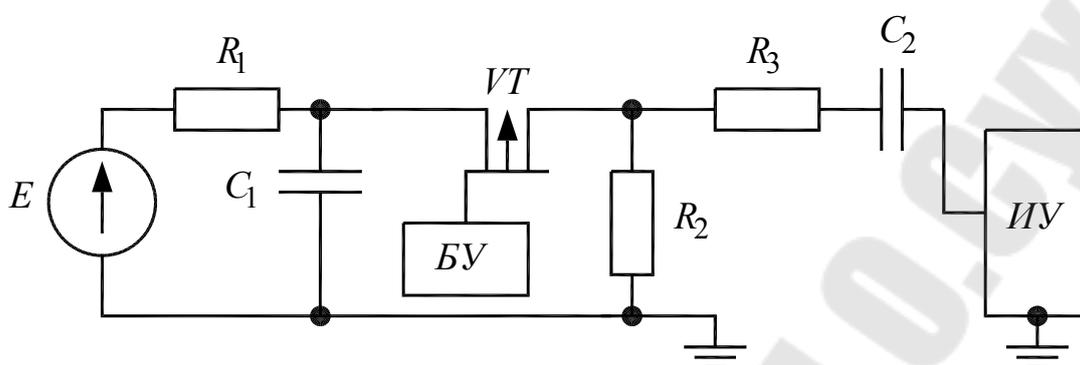


Рис. 2.4. Схема испытаний на устойчивость к наносекундным импульсным помехам

Блок управления замыкает и размыкает электронный ключ таким образом, что короткие импульсы поступают на испытуемое устройство пакетами. Длительность одного пакета импульсов составляет 15 мс, а период повторения пакетов – 300 мс. Амплитуда импульсов составляет 0,5 кВ для 1 класса жёсткости испытаний и 4 кВ для 4 класса жёсткости испытаний.

Схема испытаний на устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии аналогична схеме, приведенной на рис. 2.4, только вместо конденсатора C_2 устанавливается дроссель (катушка индуктивности). Элементы цепи выбираются таким образом, чтобы при коммутации электронного ключа длительность фронта импульса составляла 1 мкс, а длительность импульса – 50 мкс в режиме холостого хода по отношению к выходу схемы, и, соответственно, 6,4 мкс и 16 мкс в режиме короткого замыкания. Значение напряжения E может составлять 0,5 кВ для 1 класса жёсткости испытаний и 4 кВ для 4 класса жёсткости испытаний.

Схема испытаний на устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания приведена на рис. 2.5.

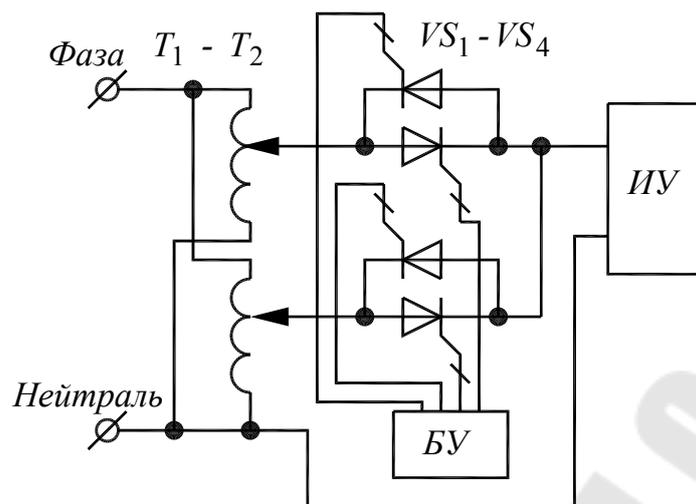


Рис. 2.5. Схема испытаний на устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания

Напряжение электрической сети, соответствующее напряжению питания испытываемого устройства ИУ через два автотрансформатора T_1 , T_2 и двухоперационные тиристоры (типа GTO) $VS_1...VS_4$, управляемые с помощью микропроцессорного блока управления БУ, подаётся на цепь питания ИУ. Каждая пара тиристоров представляет собой двунаправленный электронный ключ. Отклонения напряжения имитируют путём попеременной коммутации этих ключей и изменением положения регуляторов автотрансформаторов. При этом ключи никогда не замыкаются одновременно, а одновременно могут быть разомкнуты не более 100 мс.

Схема испытаний на устойчивость к колебательным затухающим помехам аналогична схеме, приведенной на рис. 2.4, только вместо резистора R_2 устанавливается дроссель (катушка индуктивности). Элементы цепи выбираются таким образом, чтобы при коммутации электронного ключа период затухающих колебаний составлял 10 мкс, а длительность процесса – не более 4 периодов.

В результате испытаний на помехоустойчивость формируют следующие основные критерии качества испытываемых устройств (ИУ):

- А – нормальное функционирование ИУ в соответствии с требованиями, установленными изготовителем или заказчиком;
- В – временное прекращение выполнения функций ИУ или ухудшение качества функционирования, которые исчезают после прекращения помехи и не требуют вмешательства оператора для восстановления работоспособности;

- С - временное прекращение выполнения функций ИУ или ухудшение качества функционирования, которые требуют вмешательства оператора;

- D - прекращение выполнения функций ИУ или ухудшение качества функционирования, которые не могут быть восстановлены из-за повреждений ИУ или его программного обеспечения.

Среди электронных устройств, применяющихся для автоматизации электрических сетей, наибольшей помехоустойчивостью обладают микроэлектронные устройства, а наименьшей помехоустойчивостью – микропроцессорные устройства. Причины этого будут рассмотрены далее.

3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

3.1. Общие принципы

Микроэлектронными называют устройства, выполненные на основе таких электронных компонентов, как транзисторы, операционные усилители, цифровые интегральные микросхемы малой и средней степени интеграции.

Обобщённая функциональная схема микроэлектронного устройства автоматики приведена на рис. 3.1.

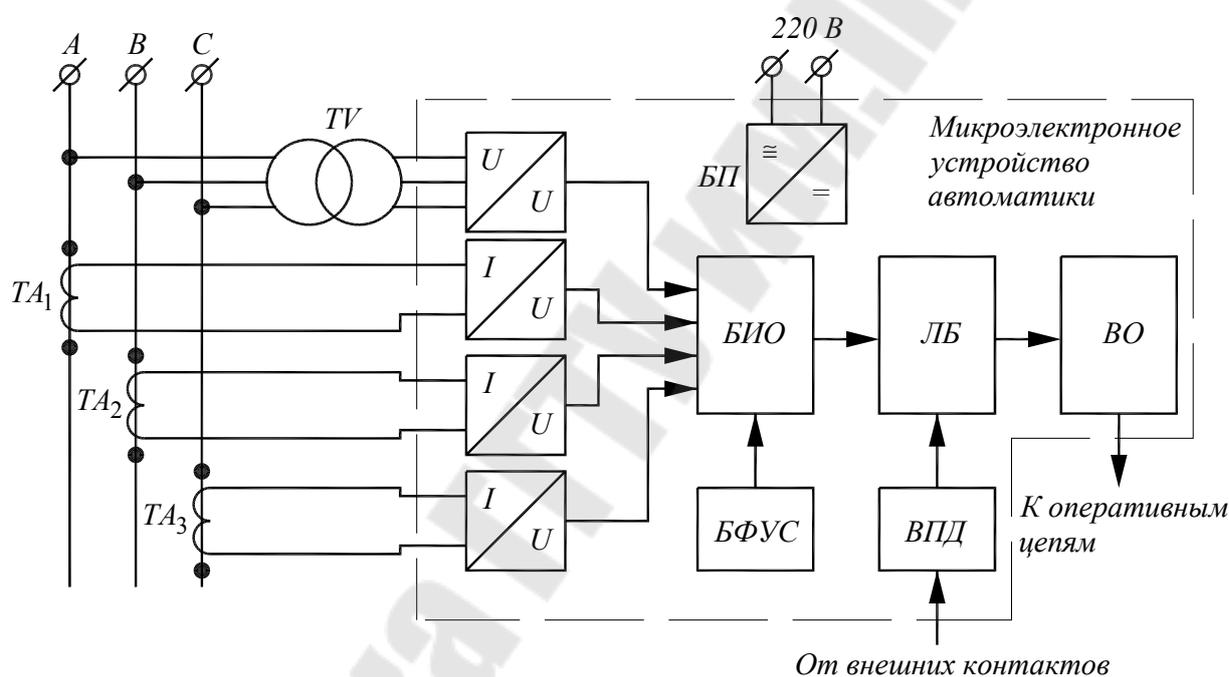


Рис. 3.1. Обобщённая функциональная схема микроэлектронного устройства автоматики

Трёхфазные напряжения и токи некоторого участка системы электроснабжения через трёхфазный измерительный трансформатор напряжения TV и измерительные трансформаторы тока $TA_1...TA_3$ поступают на входные преобразователи «напряжение - напряжение» и «ток - напряжение», которые снижают значения этих величин до уровня, необходимого для работы электронных схем. Полученные сигналы подаются на блок измерительных органов $БИО$.

Измерительный орган – это часть микроэлектронного устройства, предназначенная для сравнения измеряемой величины с её зара-

нее заданным значением – уставкой, - и выдачи сигнала управления типа «включить - выключить».

Уставки формируются оператором с помощью внешних переключателей или регуляторов в блоке формирования уставок *БФУС*.

На выходах измерительных органов формируются цифровые сигналы управления, которые поступают на логический блок *ЛБ*, реализующий логические операции «И», «ИЛИ», «НЕ», а также выдержки по времени. На этот же блок поступают дискретные сигналы от внешних цепей управления через входной преобразователь дискретных сигналов *ВПД*.

В соответствии с заданным алгоритмом логический блок подаёт сигнал на включение или отключение выходного органа *ВО*, который выполняется, как правило, в виде небольшого промежуточного электромеханического реле. Контакты этого реле подключаются к оперативным цепям управления высоковольтным выключателем.

Питание микроэлектронных реле может осуществляться как от цепей измерения, так и от специальных оперативных цепей постоянного и переменного тока. В последнем случае устройство имеет блок питания *БП*.

В реальных устройствах, как правило, имеется лишь часть входных элементов рассмотренной обобщённой схемы. Так, например, в большинстве случаев в качестве входной величины используется одна фаза напряжения или тока.

3.2. Входные преобразователи аналоговых и дискретных сигналов

В качестве входных преобразователей аналоговых сигналов обычно используют промежуточные трансформаторы напряжения и тока с электростатическим экраном, как показано на рис. 3.2.

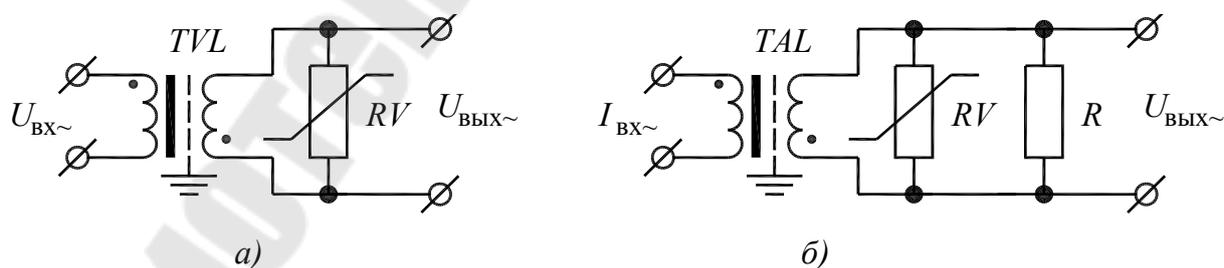


Рис. 3.2. Входные преобразователи аналоговых сигналов

Входной преобразователь напряжения (рис. 3.2, а) помимо понижающего трансформатора TVL содержит варистор RV для ограничения перенапряжений. Обмотки трансформатора включены встречно для того, чтобы он не вносил фазовый сдвиг 180° .

На линейной части характеристики намагничивания трансформатора входное и выходное напряжения связаны соотношением:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{k_{\text{ТН}}}, \quad (3.1)$$

где $k_{\text{ТН}}$ – коэффициент трансформации.

Номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора TVL равно номинальному напряжению вторичной обмотки соответствующего измерительного трансформатора напряжения, то есть в большинстве случаев составляет 100 В. Номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора TVL , как правило, не превышает 10 В.

Входной преобразователь тока (рис. 3.2, б) содержит понижающий трансформатор тока TAL , варистор RV и нагрузочный резистор R . На линейной части характеристики намагничивания трансформатора входной ток и выходное напряжение связаны соотношением:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{I_{\text{ВХ}} \cdot R}{k_{\text{ТТ}}}, \quad (3.2)$$

где $k_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации.

Из (3.2) следует, что резистор R должен быть прецизионным, то есть высокоточным.

Номинальный ток первичной обмотки трансформатора TAL равен номинальному току вторичной обмотки соответствующего измерительного трансформатора тока, то есть в большинстве случаев составляет 5 А. Номинальный ток вторичной обмотки трансформатора TAL , как правило, не превышает 20 мА. Сопротивление резистора R подбирают таким образом, чтобы действующее значение напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ не превысило 10 В.

Схема входного преобразователя дискретных сигналов приведена на рис. 3.3.

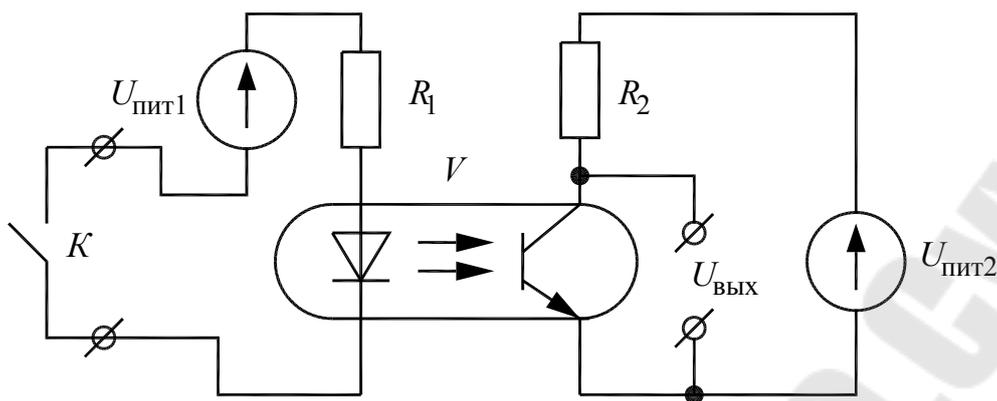


Рис. 3.3. Входной преобразователь дискретных сигналов

Этот преобразователь состоит из двух гальванически несвязанных источников постоянного напряжения $U_{\text{пит1}}$ и $U_{\text{пит2}}$, оптопары (оптрона) V , и резисторов R_1 и R_2 . Вход такого преобразователя является пассивным, то есть на него не подаются ни напряжение ни ток, а подключена цепь механических контактов K , в качестве которых могут быть блокировочные контакты высоковольтного выключателя, контакты промежуточного реле, или выходные контакты блока РЗА. Оптоин V необходим для гальванического разделения входных и выходных цепей с целью повышения помехоустойчивости устройства.

3.3. Унифицированный измерительный орган реле тока и напряжения

В настоящее время в эксплуатации находится значительное количество микроэлектронных статических реле тока и напряжения типа РСТ и РСН. Схемы этих реле унифицированы и практически целиком являются измерительными органами.

Схема унифицированного измерительного органа реле тока и напряжения приведена на рис. 3.4.

Входное напряжение U , пропорциональное току или напряжению в линии, выпрямляется с помощью двухполупериодного выпрямителя V_1 и через ограничительный резистор R_1 поступает на инвертирующий вход операционного усилителя DA_1 , включенного по схеме компаратора. На неинвертирующий вход через делитель $R_2 \dots R_5$ подаётся опорное напряжение $U_{\text{оп}}$ положительного знака, определяющее уставку реле. Переключатели $SA_1 \dots SA_3$ позволяют изменять это напряжение путём закорачивания соответствующих резисторов. Диод VD_1 служит для защиты входов DA_1 от перенапряжений.

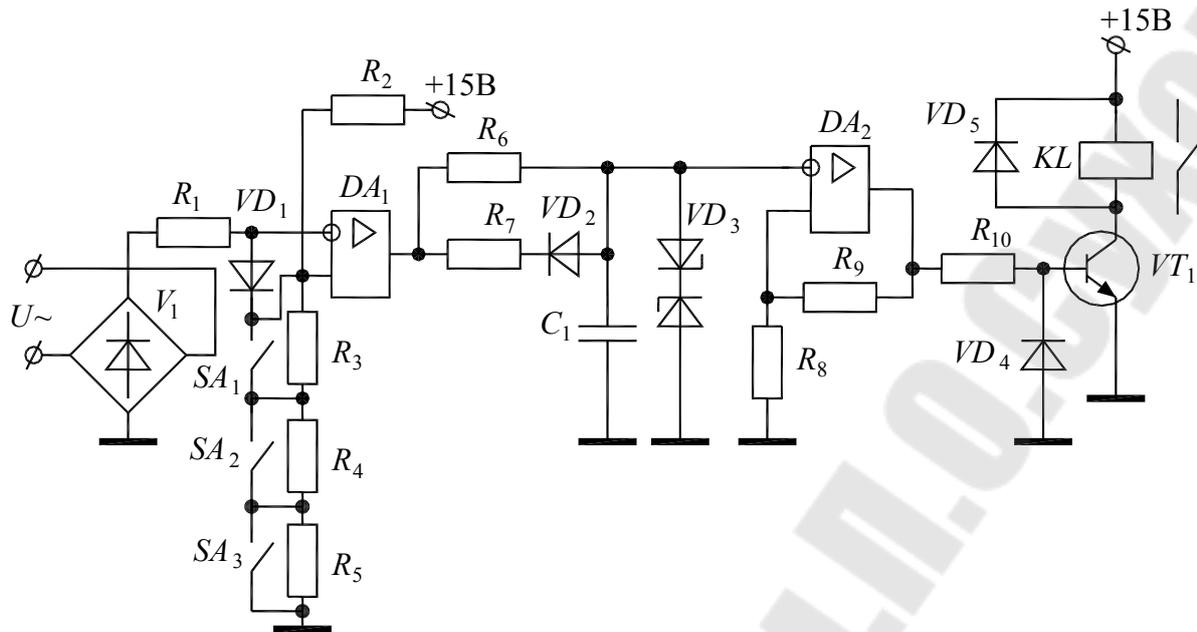


Рис. 3.4. Унифицированный измерительный орган реле тока и напряжения

При отсутствии аварийной ситуации в защищаемой линии, когда амплитуда входного напряжения U_m не превышает значение опорного напряжения, на выходе DA_1 наблюдается неизменное напряжение насыщения положительного знака, то есть максимальное выходное напряжение, и конденсатор C_1 заряжен до этого напряжения. На выходе триггера Шмитта, собранного на операционном усилителе DA_2 и резисторах R_8 , R_9 , появляется постоянное напряжение насыщения отрицательного знака, которое через ограничительный резистор R_{10} запирает электронный ключ, собранный на транзисторе VT_1 , и ток в катушке реле KL не протекает. Это соответствует недействию защиты. Диод VD_5 защищает транзистор VT_1 от перенапряжений при обрыве тока в индуктивности катушки KL .

При наличии аварийной ситуации в защищаемой линии, например, короткого замыкания, амплитуда входного напряжения U превышает значение опорного напряжения, и на выходе DA_1 появляются импульсы отрицательного знака. Эти импульсы подаются на интегрирующую цепь, собранную на элементах C_1 , R_6 , R_7 и VD_2 . При поступлении импульса отрицательного знака диод VD_2 открывается и соединяет параллельно резисторы R_6 , R_7 , уменьшая постоянную времени зарядки конденсатора C_1 . При поступлении импульса поло-

жительного знака диод VD_2 закрывается, и конденсатор более медленно перезаряжается через резистор R_6 . В результате на конденсаторе формируется напряжение пилообразной формы. Среднее значение этого напряжения принимает отрицательный знак и при дальнейшем снижении приводит к переключению триггера Шмитта, на выходе которого появляется постоянное напряжение насыщения положительного знака, отпирающее электронный ключ VT_1 , и появляется ток в катушке реле KL , контакты реле замыкаются. Это соответствует срабатыванию защиты.

Контакты промежуточного реле KL подключают к цепям оперативного управления высоковольтным выключателем или устройствам сигнализации.

3.4. Измерительный орган реле направления мощности

Реле направления мощности – это реле, реагирующее на фазовый сдвиг φ_p между током I_p и напряжением U_p , подаваемых на его входные цепи. Направление мощности срабатывания реле S_p зависит от этого фазового сдвига. Уравнение срабатывания реле имеет вид:

$$S_p = kU_p I_p \cos(\varphi_p + \varphi_{м.ч}), \quad (3.3)$$

где $\varphi_{м.ч}$ - угол максимальной чувствительности.

Угловая характеристика срабатывания реле направления мощности приведена в полярной системе координат на рис. 3.4.

Угловой диапазон срабатывания и возврата реле направления мощности составляет 180° . Если мощность положительная, то есть, направлена от шин в линию, то реле срабатывает, замыкая свои контакты. В этом случае вектор тока I_p расположен в зоне действия реле (незаштрихованная область на рис. 3.4). Если мощность имеет обратное направление (отрицательная), то реле не действует, и его контакты разомкнуты. Для исключения дребезга на границе срабатывания реле имеет некоторую зону переключения, обусловленную коэффициентом возврата реле, который должен быть не менее 0,85. Линия, разбивающая пополам зону переключения реле, называется линией нулевой чувствительности (л.н.ч.). Линия, разбивающая пополам зону действия реле, называется линией максимальной чувствительности

(л.м.ч.). Угол между этой линией и 0° называется углом максимальной чувствительности $\varphi_{\text{м.ч}}$. На рис. 3.4 $\varphi_{\text{м.ч}} = -45^\circ$.

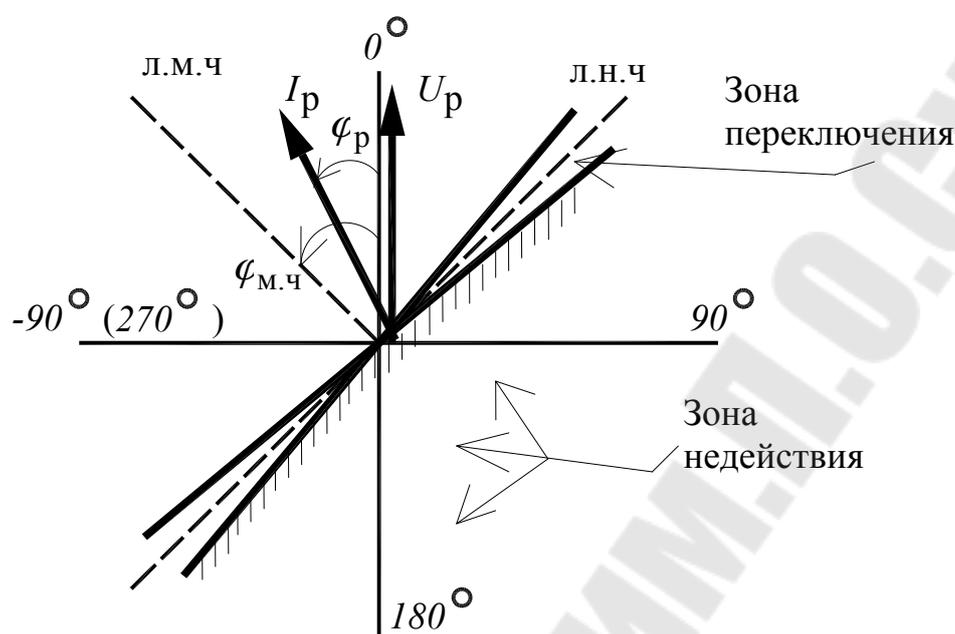


Рис. 3.5. Угловая характеристика реле направления мощности

Измерительные органы микроэлектронных реле направления мощности работают по принципу сравнения знаков полувольт двух напряжений U_1 и U_2 , одно из которых пропорционально току в линии, а второе – напряжению.

Схема измерительного органа реле направления мощности приведена на рис. 3.6.

На операционных усилителях DA_1 , DA_2 и резисторах $R_1 \dots R_4$ реализованы формирователи прямоугольных импульсов из входных синусоидальных напряжений U_1 и U_2 . Импульсы формируются по переходам синусоид через ноль.

Полученные импульсы поступают на входы блока сравнения знаков, выполненном на операционном усилителе DA_3 , включенном по схеме компаратора, диодном мосте $VD_1 \dots VD_4$, и резисторах $R_5 \dots R_8$.

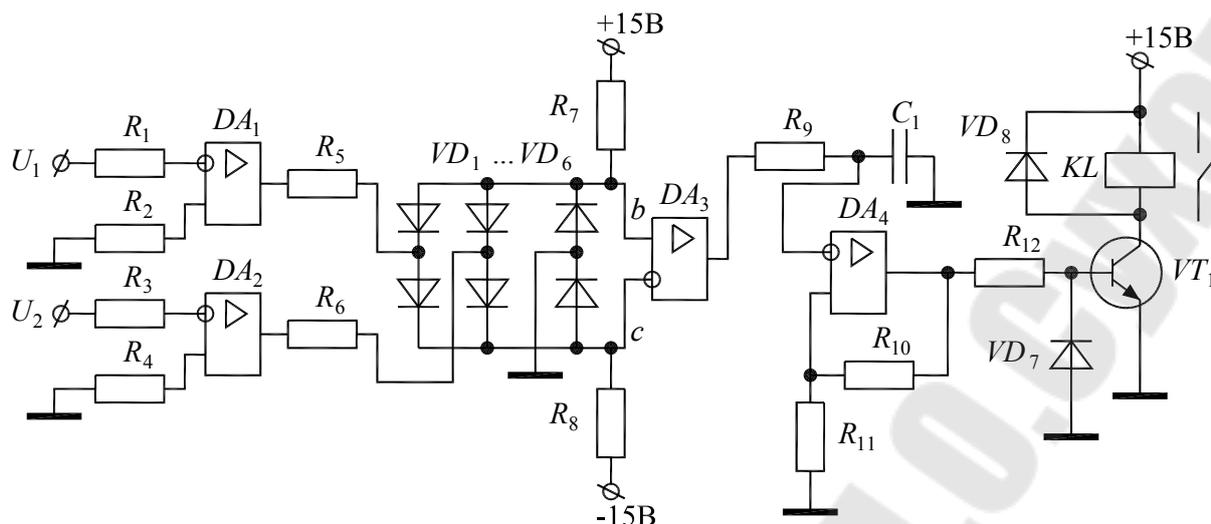


Рис. 3.6. Измерительный орган реле направления мощности

Прямоугольные импульсы с выходов DA_1 , DA_2 подаются на оба входа диодного моста $VD_1 \dots VD_4$. Если знаки импульсов совпадают, то входное напряжение диодного моста равно нулю, и мост не работает. При этом все диоды $VD_1 \dots VD_4$ будут открыты от источников питания $+15$ В и -15 В через резисторы R_7 , R_8 . Потенциал в точке « b » будет больше, чем потенциал в точке « c », и на выходе компаратора DA_3 появится напряжение насыщения положительного знака.

Если входные импульсы имеют разные знаки, то диоды $VD_1 \dots VD_4$ работают как диодный мост. При этом потенциал в точке « b » будет меньше, чем потенциал в точке « c », и на выходе компаратора DA_3 будет напряжение насыщения отрицательного знака. Диоды VD_5 , VD_6 создают путь для протекания выходных токов диодного моста.

Интегрирующая цепь R_9 , C_1 выделяет среднее значение сигнала, приходящего с выхода компаратора. В результате на конденсаторе C_1 формируется пульсирующее напряжение, поступающее на вход триггера Шмитта, собранного на операционном усилителе DA_4 и резисторах R_{10} , R_{11} . Если время совпадения знаков сравниваемых напряжений будет больше времени их несовпадения, то среднее напряжение на конденсаторе C_1 после нескольких пульсаций установится с отрицательным знаком.

Триггер Шмитта переключается, если напряжение на конденсаторе C_1 меняет знак, что соответствует фазовому сдвигу между на-

пряжениями U_1 и U_2 , равному 90° . То есть в данной схеме линия нулевой чувствительности проходит через оси 90° и -90° (270°) на угловой характеристике. Для получения требуемого значения угла максимальной чувствительности на входе схемы включают дополнительную фазосдвигающую цепь.

Сигнал с выхода триггера Шмитта поступает на электронный ключ, собранный на транзисторе VT_1 и элементах R_{12} , VD_7 , и управляющий промежуточным реле KL . Замыкание контактов реле KL соответствует зоне действия реле направления мощности, а размыкание – зоне недействия (см. рис. 3.6).

4. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

4.1. Общие принципы

Микропроцессорными (цифровыми) называют устройства автоматизации, выполненные на основе однокристалльных микроконтроллеров.

Обобщённая функциональная схема микропроцессорного устройства автоматики приведена на рис. 4.1.

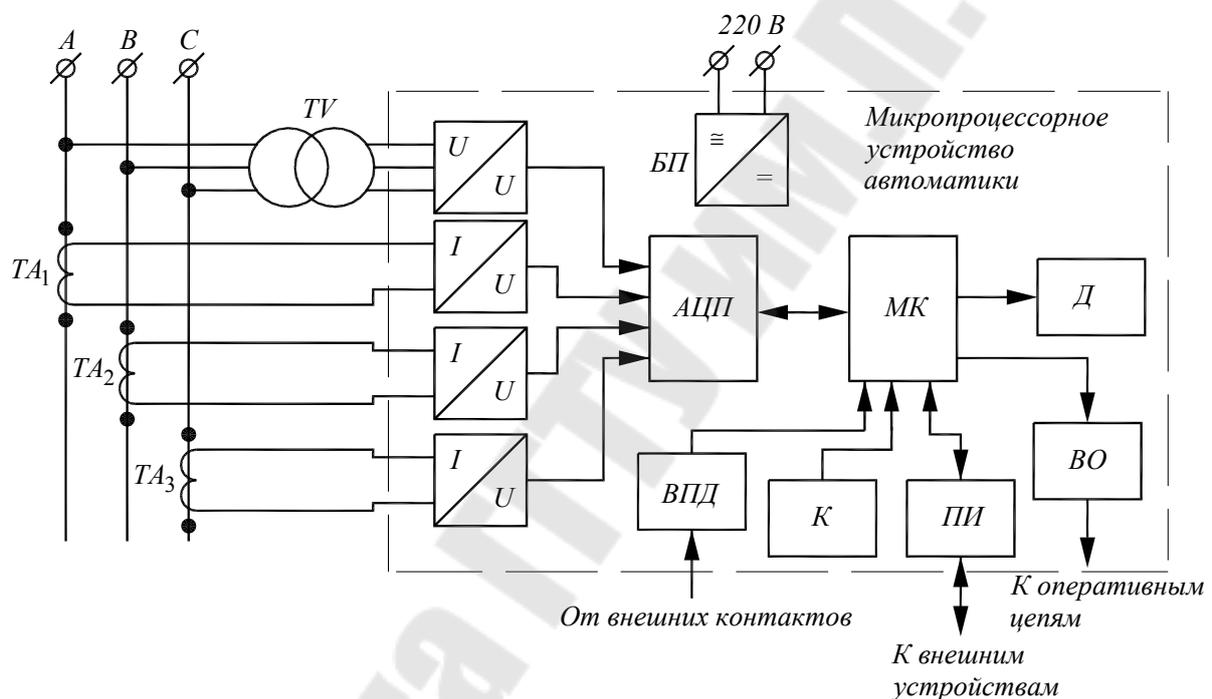


Рис. 4.1. Обобщённая функциональная схема микропроцессорного устройства автоматики

Измерительные цепи микропроцессорных устройств аналогичны соответствующим цепям микроэлектронных устройств (см. рис. 3.1). После вторичных измерительных преобразователей мгновенные значения измеряемых токов и напряжений поступают на аналоговые входы многоканального аналого-цифрового преобразователя АЦП, который формирует двоичные коды (последовательность логических нулей и единиц), пропорциональные этим мгновенным значениям. Полученные двоичные коды передаются в микроконтроллер МК, программное обеспечение которого выполняет требуемые действия с кодами: записывает необходимые данные в память, производит

математические расчёты, выводит результаты на дисплей D , передаёт данные на внешнее удалённое устройство. Задавать требуемые параметры в микропроцессорных устройствах можно с помощью клавиатуры K .

Как и в случае с микроэлектронными устройствами, микропроцессорные устройства осуществляют воздействие на оперативные цепи РЗА посредством выходных релейных органов $ВО$, и получают управляющие дискретные сигналы с помощью входных преобразователей ВПД. Однако коммуникативная составляющая микропроцессорных устройств значительно шире. Они оснащены интерфейсами связи, сигналы которых формируются соответствующими преобразователями $ПИ$, и позволяют осуществлять обмен данными вплоть до создания локальных сетей.

Микропроцессорные устройства автоматики характеризуются широкими функциональными возможностями. Они способны совмещать различные функции. Так, например, блок релейной защиты помимо своих непосредственных операций может выполнять функции счётчика электроэнергии и цифрового осциллографа.

Недостатками микропроцессорных устройств является их повышенная чувствительность к помехам и высокая стоимость по сравнению с микроэлектронными устройствами.

4.2. Микроконтроллеры и их функциональные возможности

Однокристалльный микроконтроллер (или просто микроконтроллер) – это цифровая программируемая интегральная микросхема, в состав которой входят все необходимые элементы микропроцессорной системы, а также ряд дополнительных элементов.

Все микропроцессорные устройства, применяющиеся для автоматизации электрических сетей, за исключением компьютеров, построены на основе микроконтроллеров. Эти устройства, как правило, не требуют сложных математических расчётов и формирования сложных изображений на дисплеях, и, вместе с тем, должны быть компактными и надёжными. Таким требованиям удовлетворяют микроконтроллеры.

В компьютерах, где требуется производить сложные вычисления и формировать сложные цветные изображения, применяются непосредственно микропроцессоры.

Основные фирмы-производители микроконтроллеров: Intel, Microchip, Atmel.

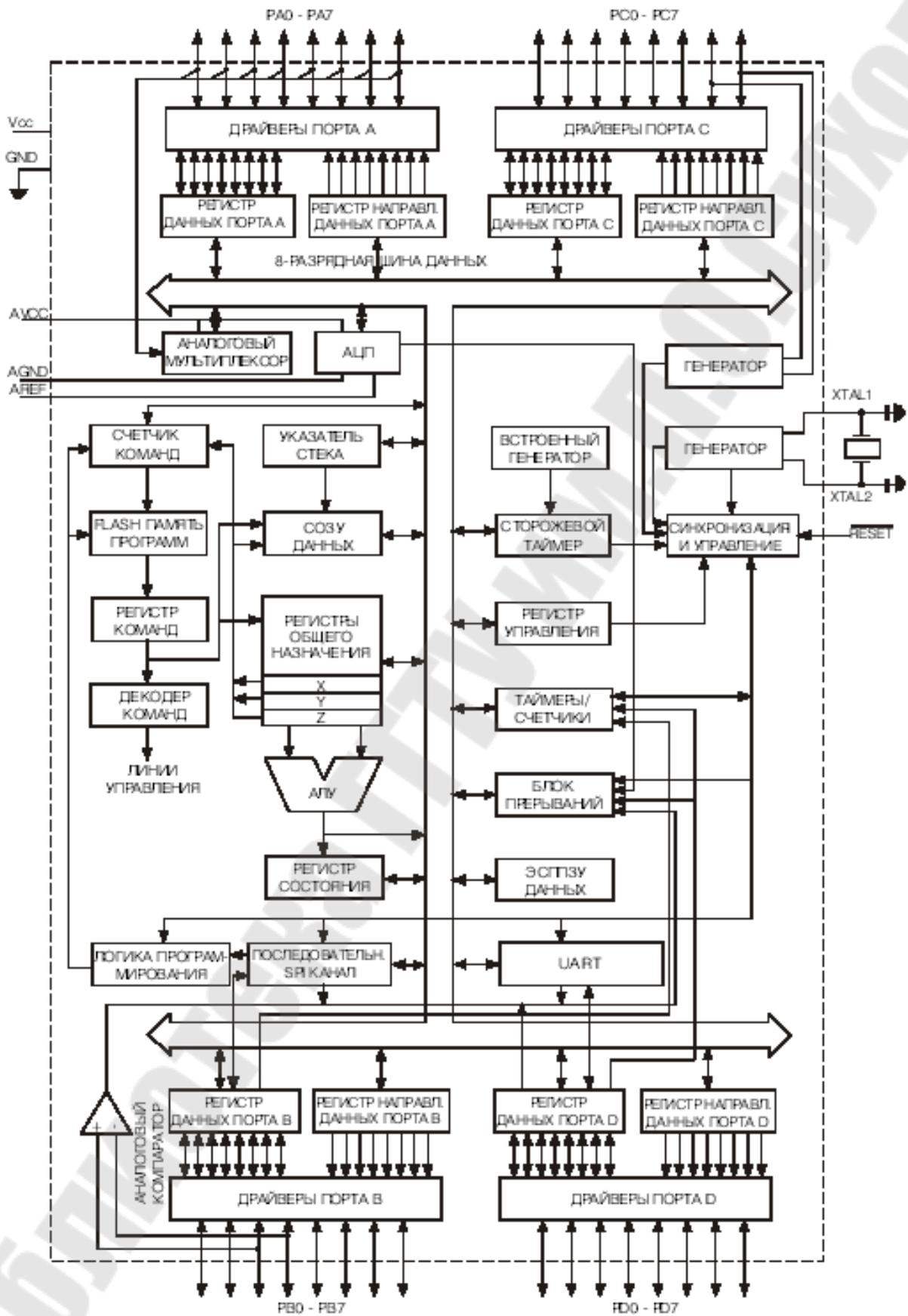


Рис. 4.2. Блок-схема микроконтроллера AT90S8535

На рис. 4.2 приведена блок-схема внутренней структуры микроконтроллера фирмы Atmel AT90S8535. Это восьмиразрядный микроконтроллер с тактовой частотой до 8 МГц, построенный по RISC архитектуре, то есть имеющий сокращённый набор команд, выполняющихся с максимальным быстродействием за 1...5 тактов.

Микроконтроллер содержит все необходимые элементы микропроцессорной системы: арифметическо-логическое устройство АЛУ, регистры общего назначения, встроенное FLASH ПЗУ программ объёмом 4К байт, ПЗУ данных объёмом 256 байт, ОЗУ объёмом 256 байт, четыре порта ввода-вывода. Кроме этого, в состав микроконтроллера входят вспомогательные элементы: таймеры-счётчики, синхронный и асинхронный последовательные интерфейсы связи, многоканальный АЦП, аналоговый компаратор. Эти элементы способны функционировать независимо друг от друга, что даёт преимущества при работе с различными внешними устройствами.

1				
2	PB0	MCS		
3	PB1			
4	PB2		PA0	40
5	PB3		PA1	39
6	PB4		PA2	38
7	PB5		PA3	37
8	PB6		PA4	36
9	PB7		PA5	35
10	Reset	PA6	34	
11	Vcc	PA7	33	
12	GND	AREF	32	
13	Xtal1	AGND	31	
14	Xtal2	AVcc	30	
15	PD0	PC7	29	
16	PD1	PC6	28	
17	PD2	PC5	27	
18	PD3	PC4	26	
19	PD4	PC3	25	
20	PD5	PC2	24	
21	PD6	PC1	23	
	PD7	PC0	22	

Рис. 4.3. Условное графическое обозначение микроконтроллера AT90S8535

Условное графическое обозначение микроконтроллера AT90S8535, используемое на принципиальных схемах, приведено на рис. 4.3. На обозначении RA, RB, PC и PD – четыре восьмиразрядных порта ввода-вывода. Линии этих портов могут выполнять несколько различных функций. Например, линии порта RA могут быть использованы как входы многоканального АЦП.

Reset – это вход сброса; Xtal – входы для подключения кварцевого резонатора (стабилизатора тактовой частоты); Vcc, GND – линии для подключения питания (+5 В); AREF – вход для подключения опорного напряжения АЦП.

```

AVR Studio - [UR.asm]
File Edit Project Debug Breakpoints Trace & Triggers Watch Options View Tools Window Help
UR
.EQU MUX271= $009E; Ячейка - ст. байт номера 7 опрашиваемого ка
.EQU MUX272= $009F; Ячейка - мл. байт номера 7 опрашиваемого ка
.EQU TEMPRAM= $00A0; Начальный адрес ОЗУ температурны

.ORG 0x000;
rjmp RESET; Переход на начало основной программы
.ORG 0x020;
; Основная программа (регистры R1-R5, R16-R24)

RESET: ldi R30,$00; Размещение стека по адресу $007F
      sts SPH,R30; (стек растет вверх!)
      ldi R30,$7F;
      sts SPL,R30;
      ldi R30,$FE;
      sts LSTADC,R30; Предустановка последнего адреса ОЗУ (
      ldi R30,$FF;
      sts LSTAD1,R30;
      ldi R30,$01;
      sts LSTAD2,R30;
      ldi R30,0b00000110; ст. байт номера 1 опрашиваемого ка
      sts MUX111,R30;
      ldi R30,0b00000000; мл. байт номера 1 опрашиваемого ка
      sts MUX112,R30;
      ldi R30,0b00000110; ст. байт номера 2 опрашиваемого ка
      sts MUX121,R30;
  
```

Рис. 4.4. Программа AVR Studio

Микроконтроллер AT90S8535 может быть использован в устройствах РЗА, счётчиках электроэнергии, системах автоматического управления, и других приборах для автоматизации электрических сетей.

Программирование микроконтроллеров осуществляется на языках Ассемблер или С с помощью специальных программ-симуляторов через стандартные порты персонального компьютера. Так для микроконтроллера AT90S8535 используется пакет AVR Studio, внешний вид главного окна которого с фрагментом программы на языке Ассемблер для цифрового регистратора приведен на рис. 4.4.

4.3. Общая характеристика интерфейсов связи

Интерфейс связи – это совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих обмен данными между микропроцессорными устройствами.

По характеру линий связи интерфейсы бывают **проводные** и **беспроводные**. Проводные используют различные виды сигнальных кабелей или линии электропередачи, а беспроводные – инфракрасное излучение или радиоволны.

По способу передачи бывают **параллельные** и **последовательные** интерфейсы. В параллельных интерфейсах каждый бит двоичного кода передаётся по отдельной линии, а в последовательных – по одной или нескольким линиям. Последовательные интерфейсы, в свою очередь, бывают **синхронные** и **асинхронные**. В синхронных интерфейсах используются дополнительные линии, по которым передаются импульсы синхронизации, частота которых равна частоте передаваемых по отдельной линии бит данных. В асинхронных интерфейсах импульсы синхронизации передаются по той же линии, что и биты данных.

По направлению передачи бывают **симплексные**, **полудуплексные** и **дуплексные** интерфейсы. В симплексных интерфейсах обмен данными осуществляется только в одну сторону от передатчика к приёмнику. В полудуплексных интерфейсах обмен данными может происходить в обе стороны, но не одновременно и по общей линии связи. В дуплексных интерфейсах обмен данными идёт одновременно в обе стороны по отдельным линиям.

В проводных интерфейсах могут использоваться электрические коаксиальные кабели, волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) или линии электропередачи.

Конструкция одножильного электрического коаксиального кабеля показана на рис. 4.5.

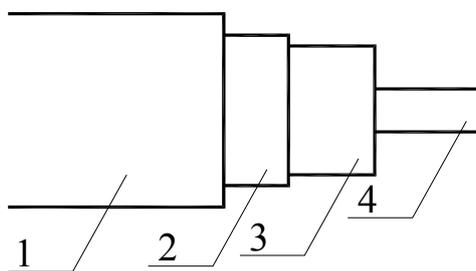


Рис. 4.5. Конструкция электрического сигнального кабеля

Такой сигнальный кабель по конструкции подобен силовому кабелю и содержит защитную оболочку из светостабилизированного полиэтилена 1, электромагнитный экран из медной оплётки 2, основную изоляцию из структурированного полиэтилена 3 и медную жилу 4.

Электромагнитный экран препятствует прониканию помех в кабель. Основным параметром таких кабелей является волновое сопротивление, характеризующее кабель как длинную линию. Значение этого сопротивления составляет, как правило, 50 или 75 Ом.

Коаксиальные кабели позволяют передавать данные со скоростью до 1М бит/с. Дальность передачи – до 200 м.

Если сигнальный кабель содержит две свитые изолированные жилы, то такой кабель называют **витая пара**. Пример конструкции витой пары показан на рис. 4.6.

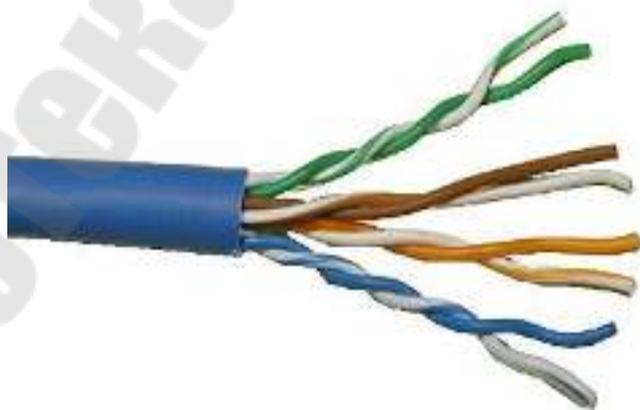


Рис. 4.6. Витая пара

Свитые провода позволяют дополнительно снизить влияние помех за счёт взаимной компенсации напряжённости электрического

поля в противоположных полувитках. На рис. 4.6 показана конструкция кабеля с четырьмя витыми парами без экранов. Бывают конструкции кабелей, когда витые пары помещают в общий экран, или каждую витую пару в отдельный экран. Витые пары позволяют передавать данные со скоростью до 1000 Мбит/с. Дальность передачи – до 2000 м.

Общим недостатком электропроводящих сигнальных кабелей является их чувствительность к внешним помехам.

Более совершенным средством для передачи данных посредством проводных интерфейсов являются волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Принцип передачи сигнала через оптическое волокно показан на рис. 4.7.

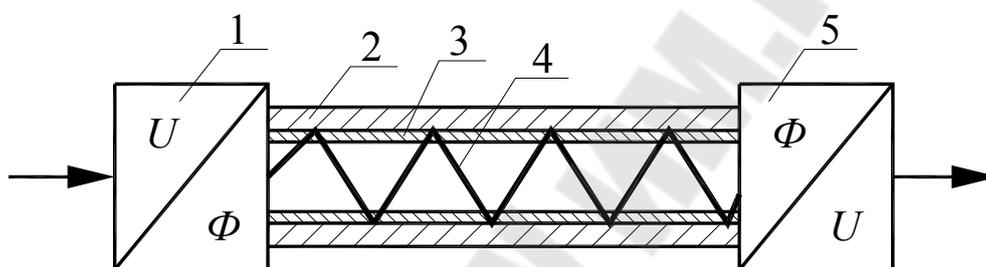


Рис. 4.7. Принцип передачи сигнала через оптическое волокно

Входное напряжение подается на полупроводниковый формирователь 1 лазерного луча 4 с длиной волны около 1500 нм (инфракрасный диапазон). Этот луч попадает в полость оптического волокна, состоящего из двух слоев 2 и 3 с разными коэффициентами преломления, подобранными таким образом, чтобы луч полностью отражался и продолжал своё распространение по волокну. Диаметр полости составляет около 5 мкм. В конце линии луч попадает на фотоприемник 5, преобразующий оптическое излучение в напряжение. Такое оптическое волокно называется **одномодовым**. Скорость передачи данных может достигать 2,5 Гбит/с. Дальность передачи – до 40 км.

Существуют оптические волокна, по которым можно передавать одновременно несколько лучей (мод) с некоторым запаздыванием один относительно другого. Такое оптическое волокно называется **многомодовым**.

Конструкция волоконно-оптического кабеля показана на рис. 4.8.

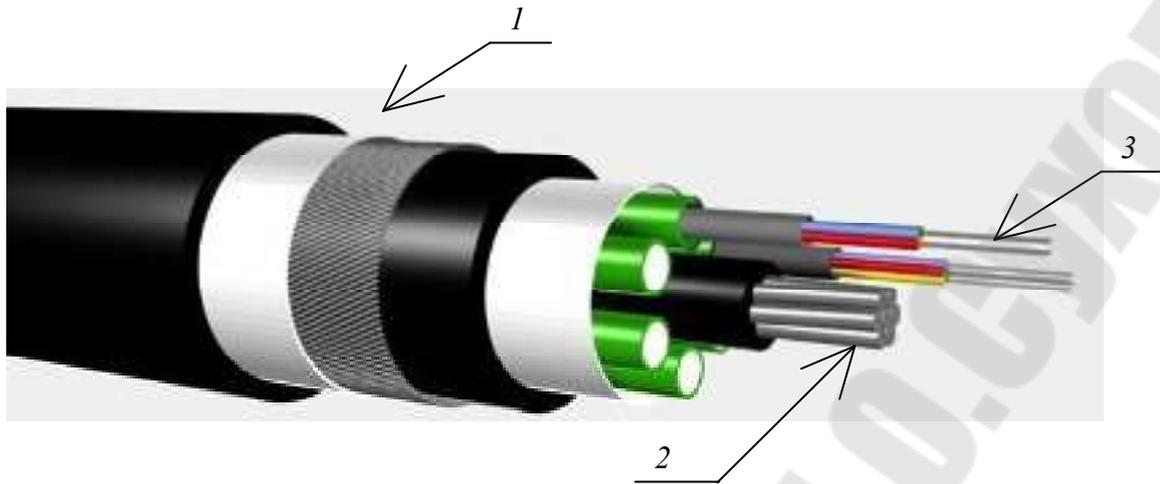


Рис. 4.8. Конструкция волоконно-оптического кабеля

Кабель состоит из различных защитных оболочек 1, центральной стальной жилы 2 и оптических волокон 3. Стальная жила предназначена для несения механической нагрузки, защитные оболочки изолируют волокна от окружающей среды. Количество оптических волокон в кабеле может достигать нескольких десятков.

На сегодняшний день ВОЛС – наиболее скоростные и помехоустойчивые из всех видов линий связи.

В беспроводных интерфейсах, использующих инфракрасное излучение, применяется светодиод в передатчике и фотодиод в приёмнике. Достоинства такого вида связи: простота реализации, недостаток – влияние препятствий на передачу. Скорость передачи данных может достигать 16М бит/с. Дальность передачи – до 20 м.

Беспроводные интерфейсы, использующие радиосвязь, могут функционировать на основе радиорелейной, сотовой или спутниковой связи.

Обязательными аппаратными средствами при радиосвязи являются передающие и приёмные антенны, а также модемы – устройства, осуществляющие модуляцию и демодуляцию сигналов. Передаваемый сигнал модулирует, то есть изменяет параметры высокочастотного сигнала, который называют несущим. Чаще всего используют частотную или фазовую модуляции. Принцип частотной модуляции при цифровой связи (путём передачи логических нулей и единиц) можно записать в виде формулы:

$$U(t) = U_m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot (f_H \pm \Delta f) \cdot t), \quad (4.1)$$

где: f_n – частота несущего сигнала; Δf – изменение частоты при передаче логических нулей и единиц, при этом $\Delta f \ll f_n$.

В зависимости от значения f_n различают различные диапазоны радиосвязи. Эти диапазоны приведены в табл. 4.1

Таблица 4.1

Диапазоны радиосвязи

f_n	Диапазон
150...450 кГц	Длинные волны (ДВ)
500...1600 кГц	Средние волны (СВ)
3...30 МГц	Короткие волны (КВ)
30...300 МГц	Ультракороткие волны (УКВ)
300 МГц...3 ГГц	Высокие частоты (ВЧ)
3 ГГц... 30 ГГц	Сверхвысокие частоты (СВЧ)

Диапазон УКВ используется в **радиорелейной связи**. Сигналы этого и более высоких диапазонов надёжно распространяются в зоне прямой видимости. Поэтому из-за естественного уклона земной поверхности и изменяющегося рельефа местности для увеличения дальности передачи используют **ретрансляторы** – приёмо-передающие антенны, установленные на мачтах требуемой высоты (рис. 4.9). Радиорелейная связь используется для организации элементов телемеханики в электрических сетях. Скорость передачи данных может достигать 1М бит/с. Дальность передачи – до 1000 км.

Диапазон ВЧ используется в **сотовой связи**, являющейся усовершенствованной радиорелейной связью. При этом виде связи устанавливается разветвлённая сеть из ретрансляторов (рис. 4.10), образующих на ровном рельефе правильные шестиугольники, напоминающие пчелиные соты.

В сотовой связи используются два основных стандарта GSM (Global System for Mobile communications - глобальная система мобильной связи) и CDMA (Code Division Multiple Access - множественный доступ с кодовым разделением каналов). В стандарте GSM данные от разных абонентов передаются пакетами с разделением этих пакетов во времени. В стандарте CDMA пакеты данных от разных абонентов передаются одновременно, но кодированы они по-разному.

Стандарт GSM является более надёжным, а стандарт CDMA – более скоростным. Скорость передачи данных в GSM может достигать 1М бит/с, а в CDMA – до 3М бит/с.



Рис. 4.9. Ретранслятор для радиорелейной связи



Рис. 4.10. Ретранслятор для сотовой связи

Диапазон СВЧ используется для спутниковой связи, позволяющей передавать данные практически в любую точку планеты с помощью орбитальных спутников связи (рис. 4.11).



Рис. 4.11. Спутник связи

Приёмо-передающие антенны для спутниковой связи выполняются на основе параболических электромагнитных зеркал (рис. 4.12).



Рис. 4.12. Спутниковая антенна

Скорость передачи данных в спутниковой связи может достигать 1М бит/с.

4.4. Интерфейс связи ИРПС

В системах контроля и учёта электроэнергии крайне важной является задача передачи измеренных величин на некоторое расстояние. Один из способов – использование интерфейса связи типа «токовая петля», или ИРПС – интерфейс радиальный последовательный. Устройства, реализующие ИРПС, представляют собой измерительные преобразователи или измерительные приборы с унифицированным токовым выходом, то есть выходом таких устройств является источник постоянного тока с номинальным значением 5мА или 20 мА, и этот выход называют телеметрическим. Схема соединения устройств посредством ИРПС приведена на рис. 4.13.



Рис. 4.13

Линия связи представляет собой витую пару, что сделано для обеспечения помехозащищённости. На стороне принимающего прибора подключается нагрузочное сопротивление требуемого номинального значения.

Интерфейс ИРПС может быть аналоговым и цифровым. Пример применения аналогового интерфейса приведен на рис. 4.13. Ток, передаваемый по линии, пропорционален измеряемой величине. В случае цифрового ИРПС, по линии передаются импульсы, частота следования которых пропорциональна измеряемой величине. В основном такой метод используют в счётчиках электроэнергии для их объединения в систему АСКУЭ.

4.5. Интерфейс RS232

RS232 – это дуплексный асинхронный последовательный интерфейс связи, предназначенный для обмена данными микропроцессорных устройств с компьютером через COM – порт. Максимальная скорость обмена данными составляет 125000 бит/с, дальность передачи – до 200 м.

Наиболее распространённая схема соединений RS232 приведена на рис. 4.14.

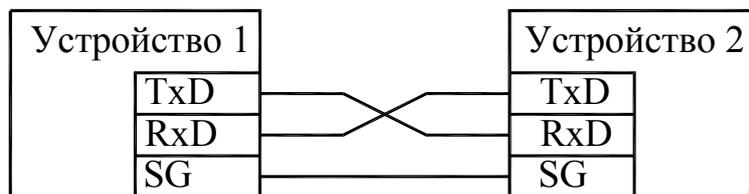


Рис. 4.14. Схема соединений RS232

TxD – это выход данных; RxD – вход данных; SG – общий провод.

Сигналы RS232 имеют следующие уровни: +12 В – логический ноль; -12 В – логическая единица. Передаваемые логические уровни включают биты данных и биты синхронизации. На рис. 4.15 приведены диаграммы работы RS232.

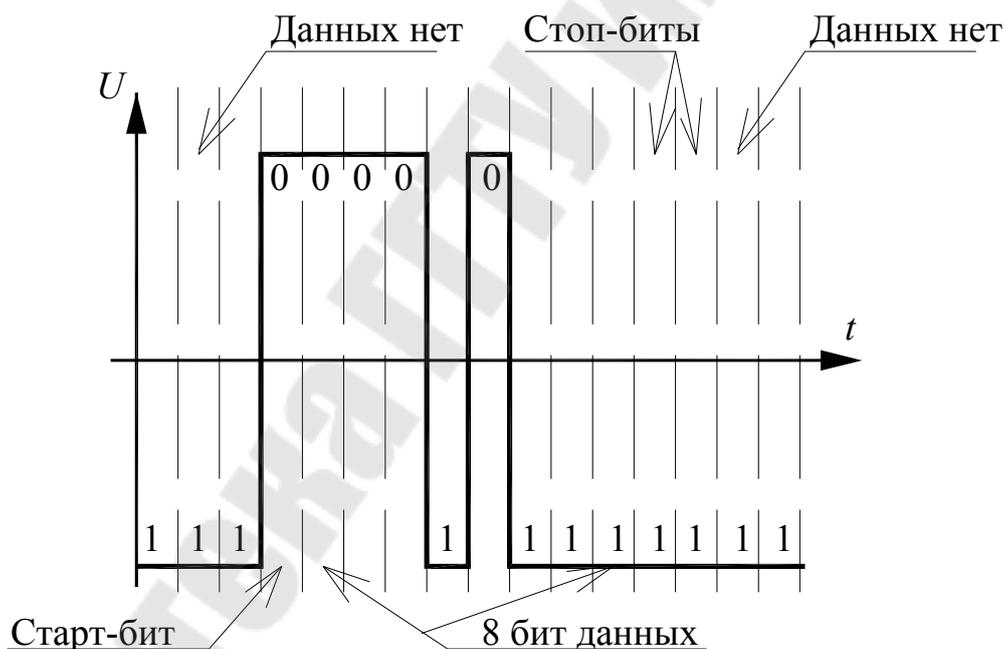


Рис. 4.15. Диаграммы работы RS232

Обмен данными оба устройства должны вести с одинаковой частотой. Начало приёма или передачи данных соответствует моменту появления старт-бита. Затем передаются 8 бит данных и стоп-биты. Таким образом осуществляется синхронизация обмена данными.

RS232 – это профессиональный помехоустойчивый интерфейс связи, широко применяемый при автоматизации электрических сетей.

4.6. Интерфейс RS485

RS485 – это асинхронный последовательный интерфейс связи, предназначенный для обмена данными между микропроцессорными устройствами и для объединения этих устройств в магистральную сеть посредством кабеля «витая пара». Максимальная скорость обмена данными составляет 10М бит/с, дальность передачи – до 1200 м.

Для симплексного или полудуплексного обмена данными по интерфейсу RS485 требуется только одна витая пара. Схема соединений RS485 приведена на рис. 4.16.

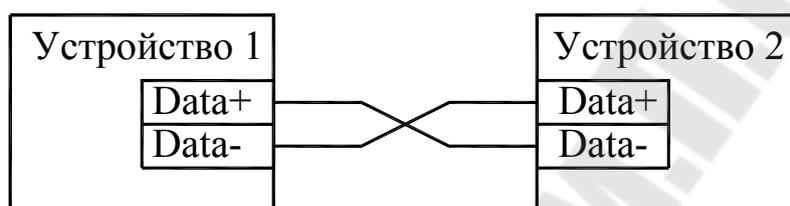


Рис. 4.16. Схема соединений RS485

Интерфейс RS485 имеет две линии Data+ и Data-. По ним передаются одни и те же данные, но в инверсной форме один по отношению к другому. На рис. 4.17 приведены диаграммы работы RS485.

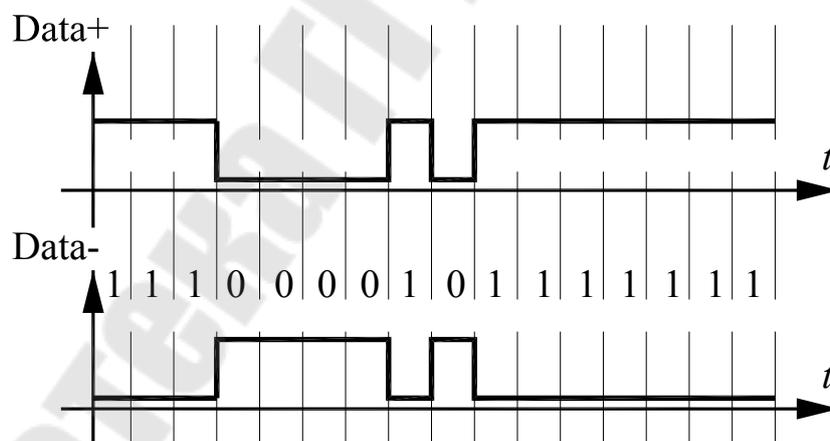


Рис. 4.17. Диаграммы работы RS485

Приёмное устройство определяет разность потенциалов между линиями Data+ и Data-. Если эта разность более 0,2 В, то принимается логическая единица, если же разность меньше -0,2 В, то принимается логический ноль. Диапазон между +0,2 В и -0,2 В считается зоной недостоверности и данные признаются ошибочными.

Интерфейс RS485 позволяет объединять устройства в магистральную сеть, как показано на рис. 4.18.

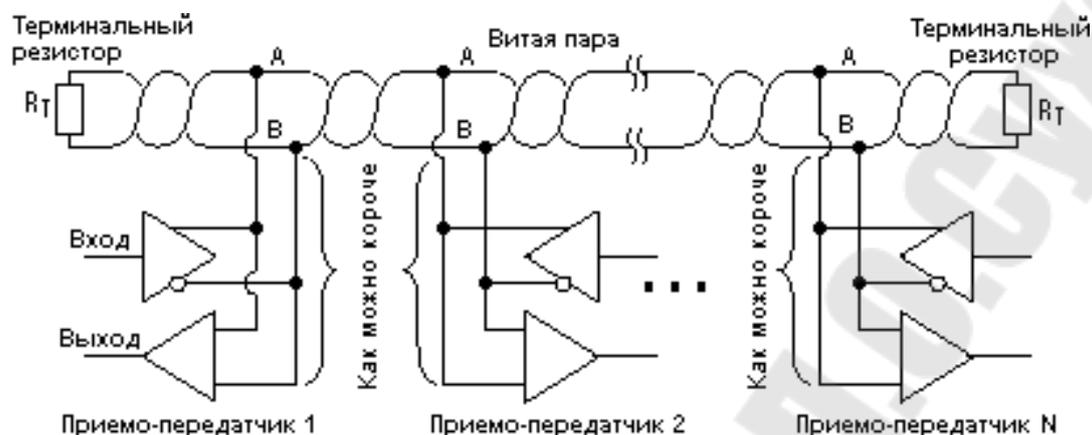


Рис. 4.18. Объединение приборов в магистральную сеть

Общая магистраль реализуется посредством витой пары, к концам которой для дополнительной защиты от помех подключают так называемые терминальные резисторы сопротивлением 120 Ом. Все устройства работают по принципу «все ведомые – один ведущий». В каждый момент времени на магистраль в режиме передачи работает только одно устройство, а остальные устройства принимают данные. Затем передающее устройство переходит в режим приёма, а одно из принимающих становится передатчиком. То есть реализуется полудуплексный обмен данными в сети.

4.7. Интерфейс Ethernet

Ethernet (читается «эсернет») – это асинхронный последовательный интерфейс связи, предназначенный для создания радиально-магистральных локальных сетей из микропроцессорных устройств.

Ethernet представляет собой усовершенствованный интерфейс RS-485 и использует передачу данных по витым парам или по оптоволокну. Основные разновидности и характеристики интерфейса Ethernet приведены в табл. 4.2.

Топология сетей Ethernet имеет древовидную структуру и состоит из устройств, образующих сеть, и концентраторов.

Концентратор – это микропроцессорное устройство, предназначенное для сбора и передачи данных в локальной сети.

Концентраторы бывают следующих видов: маршрутизаторы, коммутаторы и повторители.

Разновидности и характеристики интерфейса Ethernet

Тип Ethernet	Скорость передачи	Линия связи	Длина одного сегмента
10BASE-T	10М бит/с	2 витые пары	до 100 м
10BASE-F	10М бит/с	одномодовое оптоволокно	до 2 км
100BASE-T (Fast Ethernet)	100М бит/с	2	100 м
100BASE-FX (Fast Ethernet)	100М бит/с	одномодовое оптоволокно	до 10 км
1000BASE-T (Gigabit Ethernet)	1Г бит/с	2	100 м
1000BASE-LX (Gigabit Ethernet)	1Г бит/с	одномодовое оптоволокно	до 5 км

Маршрутизатор (router) – это сложный концентратор, каждый порт которого может представлять отдельную сеть.

Коммутатор (switch) – это концентратор, выполняющий функции многопозиционного переключателя.

Повторитель (hub) – предназначен для построения магистральной части сети, транслируя сигналы, принятые по одному порту, на все остальные порты.

На рис. 4.19 приведена схема сети типа «звезда».

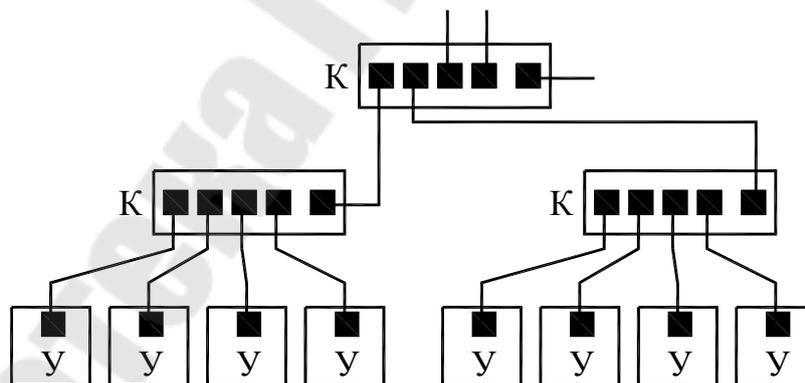


Рис. 4.19. Топология сети типа «звезда»: У – микропроцессорные устройства; К – концентраторы

Схема соединений для интерфейса 100BASE-T (две витые пары) по «прямому» кабелю при соединении устройства с концентратором приведена на рис. 4.20, где обозначено: Тх – выходы передатчика; Rx – входы приёмника.

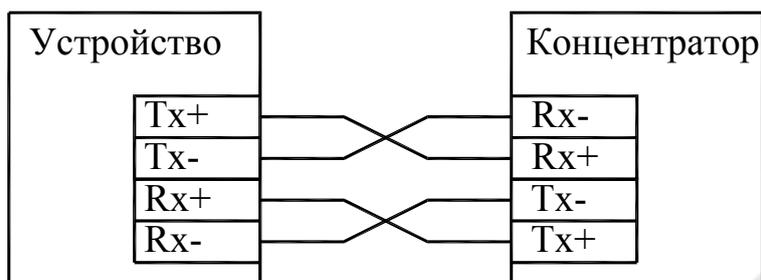


Рис. 4.20. Схема соединений по «прямому» кабелю для интерфейса 100BASE-T

При соединении устройств или концентраторов между собой используется «перекрёстный» кабель (*crossover*). Такая схема приведена на рис. 4.21.

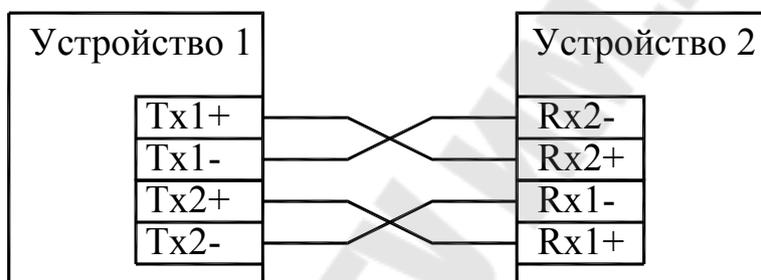


Рис. 4.21. Схема соединений по «перекрёстному» кабелю для интерфейса 100BASE-T

В процессе обмена данными каждое устройство имеет свой уникальный двоичный код - MAC (*Media Access Control address*) адрес. Обмен данными происходит пакетами (*frame*) двоичных кодов. Упрощённая форма кадра Ethernet приведена на рис. 4.22.

MAC-адрес устройства-получателя (6 байт)	MAC-адрес устройства-отправителя (6 байт)	Тип передачи (2 байта)	Данные (46 ... 1500 байт)	Контрольная сумма (4 байта)
--	---	------------------------	---------------------------	-----------------------------

Рис. 4.22. Формат кадра Ethernet

Вначале передаются 14 байт MAC – заголовка, включающие адреса устройства-получателя и устройства-отправителя, а также 2 байта кода, определяющего тип передачи (направление передачи, способ кодирования, и т.д.). Затем передаются байты данных. В случае использования протокола TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet*

Protocol), предназначенного для коммутации с сетью *Internet*, в составе байт данных передаются двоичные коды маски подсети и IP – адрес устройства в подсети. После передачи байт данных, передаются 4 байта контрольной суммы, вычисляемой по определённому алгоритму на основе байт переданных данных. Устройство, принявшее данные, также рассчитывает контрольную сумму и сравнивает её с принятым значением этой суммы. Если значения не совпали, то имеется потеря отдельных битов при передаче и выдаётся ошибка передачи. Так осуществляется защита от влияния помех.

Сети Ethernet находят всё большее распространение при автоматизации процессов, например, в пределах одной подстанции, где в локальную сеть объединяются счётчики электроэнергии, измерительные устройства, блоки релейной защиты, компьютеры и т.д. Главное достоинство Ethernet – возможность передачи больших объёмов информации за счёт высокой скорости.

5. ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ ПО ЛИНИЯМ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

5.1. Общая характеристика систем связи по линиям электропередачи

В структуре диспетчерского и технологического управления энергетическими объектами на расстоянии широко применяются высокочастотные (ВЧ) каналы передачи информации по проводам высоковольтных линий электропередач (каналы ВЧ-связи по ЛЭП). До настоящего времени ВЧ каналы передачи информации по ЛЭП составляют больше половины всех каналов дальней связи. По этим каналам передаются все виды информации, необходимые для управления работой энергосистем и объединений энергосистем, как в нормальных режимах работы, так и при аварийных ситуациях. Это телефонные переговоры, сигналы телемеханики, передача данных, электронная почта, сигналы противоаварийной автоматики и релейной защиты.

Линия электропередачи является проводной линией весьма высокой надежности. Надежность линии электропередачи в десятки раз превосходит надежность проводных линий, построенных специально для целей связи. Поэтому имеет смысл использовать линии электропередачи помимо их основного назначения - передачи электрической энергии промышленной частоты - также для целей передачи информации. Каналы передачи информации по этим линиям могут быть значительно дешевле каналов связи по специальным проводным линиям в силу того, что отпадают затраты по сооружению и эксплуатации самой линии связи.

Передача информации посредством проводов ЛЭП является разновидностью техники дальней связи и имеет много общего со связью по специальным воздушным, кабельным и радиорелейным линиям связи. Однако информационные ВЧ каналы по ЛЭП обладают рядом особенностей, отличающих их от всех других видов дальней связи. В силу этих особенностей ВЧ передача информации по ЛЭП сформировалась как самостоятельная область техники.

Одной из таких особенностей является то, что линия электропередачи все время находится под высоким напряжением промышленной частоты, вследствие чего по ЛЭП возможна только высокочастотная (ВЧ) передача информации, поскольку необходимо разделить напряжение информационных сигналов от напряжения промышленной частоты. В связи с этим, для организации ВЧ каналов по ЛЭП, в

настоящее время, используется диапазон высоких частот 20÷600 кГц, а в последнее время наметилась тенденция расширения частотного диапазона в сторону его увеличения.

Наиболее широкое распространение ВЧ каналы передачи информации нашли на магистральных линиях 35÷500 кВ.

По назначению ВЧ каналы передачи информации в энергосистемах можно разделить на следующие виды.

1) **Каналы диспетчерской телефонной связи.** Этот вид связи в настоящее время является наиболее важным средством технологического управления и должен обеспечивать возможность быстрого и прямого соединения диспетчера с подчиненными ему объектами: нижестоящими диспетчерскими пунктами, электростанциями и подстанциями.

2) **Каналы для телемеханики и передачи данных.** Средства телемеханики дают диспетчеру информацию о состоянии энергетического оборудования на объектах, а также о режимах работы электростанций, сетей и объединений. С помощью этих средств осуществляется также управление энергетическим оборудованием на расстоянии и автоматическое регулирование работы энергосистемы и объединения в нормальном режиме. Каналы для устройств телемеханики лишь в редких случаях организуются отдельно, обычно они совмещаются с каналами диспетчерской телефонной связи.

3) **Каналы для автоматических систем управления.** Целый ряд процессов на энергетических объектах происходит так быстро, что скорости реакции человека недостаточно, чтобы ими управлять. Особенно это относится к аварийным средствам. Поэтому для ликвидации аварий используются средства автоматического управления (автоматики), действующие без участия человека. Наиболее обширной и развитой областью автоматики в энергосистемах является релейная защита ЛЭП, осуществляющая автоматическое отключение линии, если на ней произошло короткое замыкание. Широкое применение находит также противоаварийная автоматика, обеспечивающая устойчивую работу энергосистем при возникновении аварийных ситуаций. Для релейной защиты и противоаварийной автоматики используются, в основном, ВЧ каналы передачи информации по ЛЭП, т. е. другие виды каналов не отвечают требованиям необходимой надежности.

5.2. Принципы построения систем связи по линиям электропередачи

Подключение высокочастотной аппаратуры к проводам ЛЭП возможно осуществить несколькими способами, а именно: «фаза-земля», «фаза-фаза» одной линии, «фаза-фаза» разных линий и др. В СНГ наибольшее распространение получил способ подключения «фаза-земля», являющийся простым и экономичным. Остальные способы подключения требуют значительно большего количества аппаратуры присоединения и обработки, хотя и обеспечивают несколько лучшие условия распространения высокочастотной энергии. На рис 5.1 приведена схема подключения «фаза-земля».

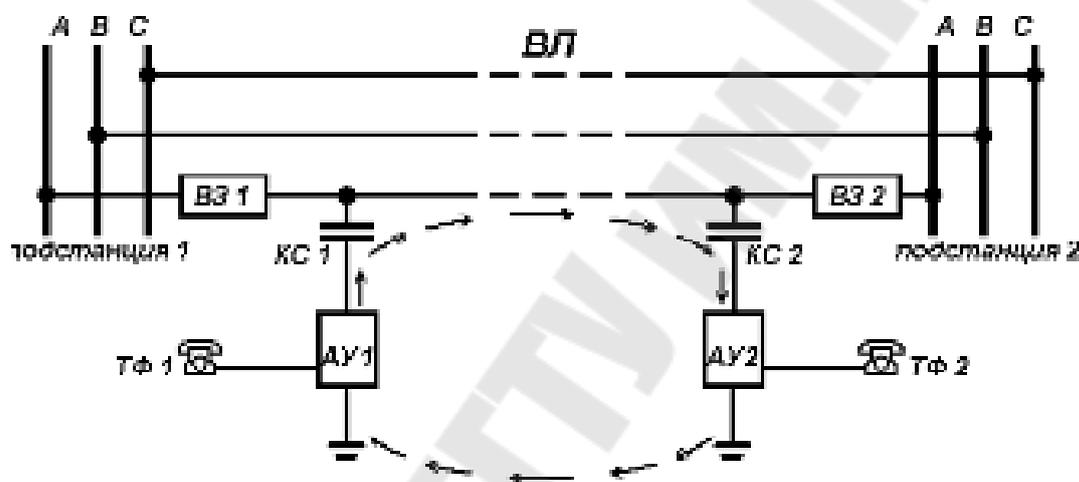


Рис. 5.1. Схема канала высокочастотной связи по линии электропередачи: КС – конденсатор связи; АУ – аппаратура уплотнения; ВЗ – высокочастотный заградитель; ТФ – телефонный аппарат

Для отделения ВЧ тракта передачи сигнала от оборудования высокого напряжения подстанции, которое может иметь низкое сопротивление для высоких частот канала связи, в фазный провод линии высокого напряжения включается высокочастотный заградитель (ВЗ).

Конденсатор связи (КС) служит для выделения высокочастотных сигналов канала связи. Он включается на полное фазное напряжение сети и должен обладать достаточной электрической прочностью.

Аппаратура уплотнения (АУ) представляет собой набор электронных устройств для кодирования и декодирования передаваемой информации.

Схема подключения ВЧ аппаратуры к ЛЭП приведена на рис. 5.2.

Для улучшения условий передачи сигналов, исключения влияния тока промышленной частоты и изоляции цепей связи от конденсатора связи между полуконтактом высокочастотной связи и нижней обкладкой конденсатора связи включается аппарат, называемый фильтром присоединения (ФП).

Высокочастотная аппаратура, как правило, отнесена на значительное расстояние от места установки КС. В связи с этим необходимым элементом канала связи по линиям электропередачи является высокочастотный кабель, по которому сигналы высокой частоты подаются от места установки аппаратуры к месту установки фильтра присоединения. Для обеспечения безопасных условий работы с ФП предусматривается возможность заземления нижней обкладки КС с помощью заземляющего ножа. К одному высокочастотному кабелю может подключаться несколько высокочастотных аппаратов.

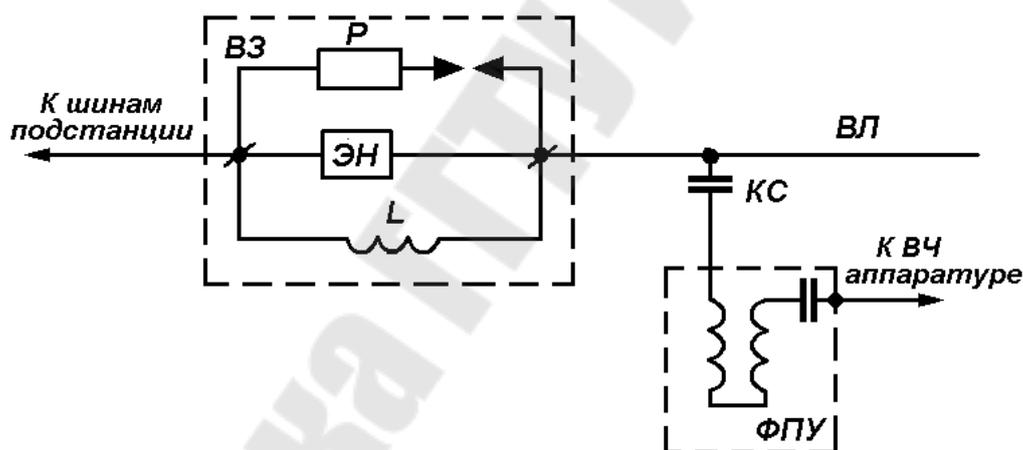


Рис. 5.2. Схема заградителя и схема включения его в линию электропередачи: ВЗ – высокочастотный заградитель, L – реактор заградителя, P – разрядник, ЭН – элемент настройки, КС – конденсатор связи, ФПУ – фильтр присоединения универсальный, ВЛ – высоковольтная линия электропередачи

Общий вид высокочастотного заградителя приведен на рис. 5.3.

ВЗ состоит из силовой катушки (реактора), по которой проходит рабочий ток линии, и элемента настройки, включенного параллельно катушке. Силовая катушка ВЗ с элементом настройки образуют двухполюсник, который имеет достаточно высокое сопротивление на частотах ВЧ канала связи. Элемент настройки совместно с реактором

обеспечивает широкополосную настройку в пределах одного из диапазонов частот заграждения. Разрядник служит для защиты ВЗ от перенапряжений, возникающих в линии электропередачи. Для тока промышленной частоты 50 Гц ВЗ имеет очень малое сопротивление.

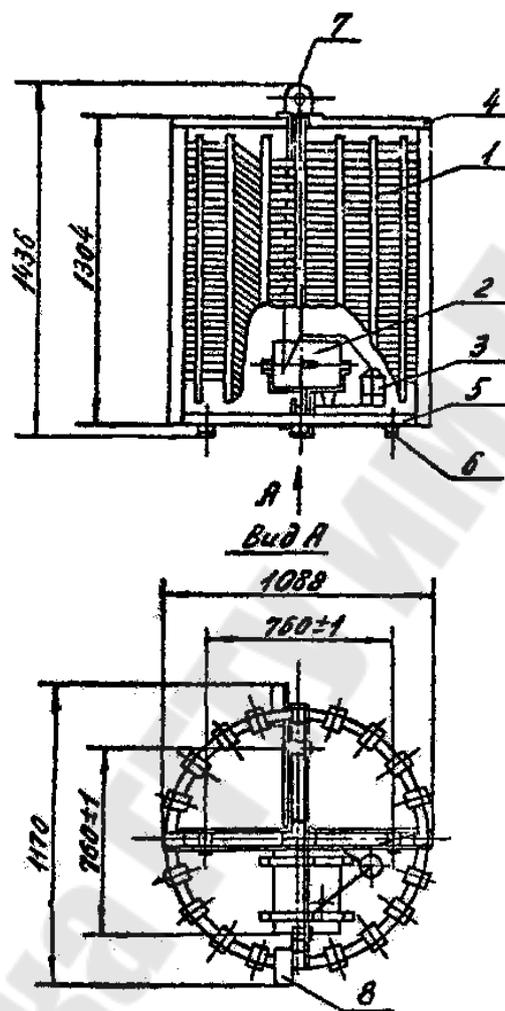


Рис. 5.3. Общий вид заградителя ВЗ-630-0,5:
 1 – реактор заградителя; 2 – элемент настройки; 3 – разрядник;
 4, 5 – верхняя и нижняя крестовины; 6 – скоба для крепления;
 7 – серьга; 8 – контактная пластина

Реактор заградителя 1 представляет собой катушку индуктивности с естественным воздушным охлаждением, по которой протекает ток промышленной и высокой частоты. Обмотка реактора выполнена многожильным алюминиевым или медным проводом в один или несколько параллельных слоев в зависимости от номинального тока заградителя. Намотка катушки производится на рейки, связанные между собой верхней 4 и нижней 5 крестовинами.

На нижней крестовине имеются скобы 6 для крепления заградителя к изолирующим опорам. На верхней крестовине имеются серьги 7 для подъема и подвески заградителя на портале подстанции. Система подвески заградителей рассчитана на разрывное усилие, вдвое превышающее массу заградителя плюс 200 кг.

Для электрического подсоединения заградителей в линию электропередачи служат контактные пластины δ – верхняя и нижняя.

Конденсаторы связи, как и другие конденсаторы, состоят из токопроводящих обкладок, разделенных диэлектриком. Между двумя тонкими, но широкими металлическими лентами (обкладками) прокладывается слой тонкой изолирующей бумаги. От каждой из металлических лент делают вывод и полученный таким образом конденсатор сворачивают, изолируя отдельные витки между собой, в круглую или плоскую секцию, как показано на рис. 5.4. Конденсаторы, предназначенные для использования в виде отдельных секций, вкладывают в футляр и, припаяв выводы *a* и *b* к жёстким лепесткам, выпускают для использования в аппаратах.

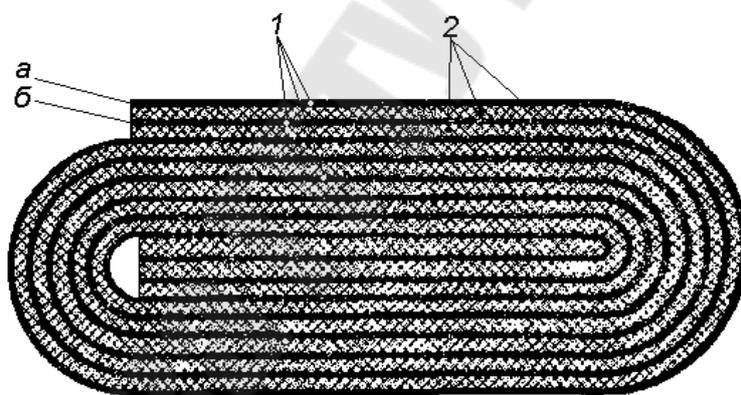


Рис. 5.4. Конденсаторная секция: 1 – бумажная изоляция; 2 – металлические обкладки; *a*, *б* – выводы секции

В конденсаторах связи напряжением выше 1000 В секции не вкладывают в футляры, а собирают (связывают) из них пакеты по 60-80 секций и каждом пакете. Секции в пакете соединяют последовательно. Пакеты, соединенные между собой параллельно, объединяют в группы. Из групп, параллельно и последовательно соединенных, собирают элемент конденсатора, готовый для монтажа на подстанции.

На рис. 5.5 показаны примерные схемы группы (рис. 5.5, *a*) и элемента конденсатора (рис. 5.5, *б*).

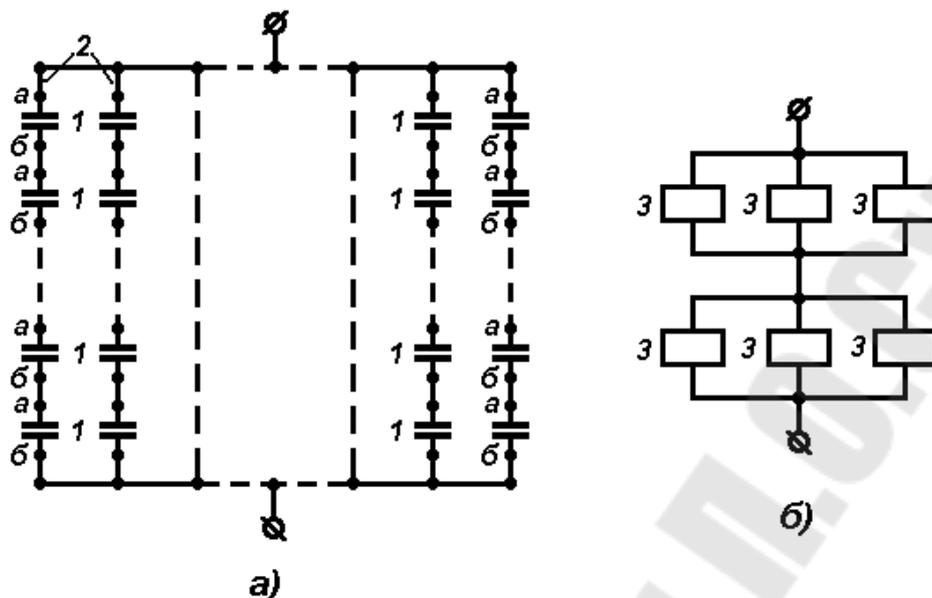


Рис 5.5. Схема соединения внутри элемента конденсатора:
 а) – схема группы; б) – схема элемента конденсатора; 1 – конденса-
 торная секция; 2 – пакет из конденсаторных секций; 3 – группа

Собранные в пакеты и группы конденсаторные секции скрепляют, помещают внутрь фарфорового корпуса и заливают сухим трансформаторным маслом.

Общий вид конденсатора связи показан на рис. 5.6.

Изолятор элемента конденсатора – корпус – имеет цилиндрическую форму и герметически закупоривается двумя стальными крышками.

Кроме конденсаторных секций, в верхней части изолятора помещается расширитель, необходимый для компенсации влияния температурных колебаний окружающего воздуха. Элементы конденсатора устанавливаются, как правило, в открытых распределительных устройствах и подвержены большим колебаниям температуры. При изменениях температуры внешнего воздуха, изменяется и температура масла, заключенного в конденсаторе. При повышении температуры масло в конденсаторе расширяется, и внутри фарфорового корпуса конденсатора могут возникнуть недопустимые давления. При резком снижении окружающей температуры давление масла внутри конденсатора может сильно уменьшиться, что также, нежелательно, так как масло всегда должно быть под небольшим избыточным давлением относительно атмосферного. От резких колебаний давления масла конденсатор защищается расширителем, который содержит несколько

мембранных коробок. Каждая из них состоит из двух сваренных стальных тарельчатых мембран, между которыми находится воздух.

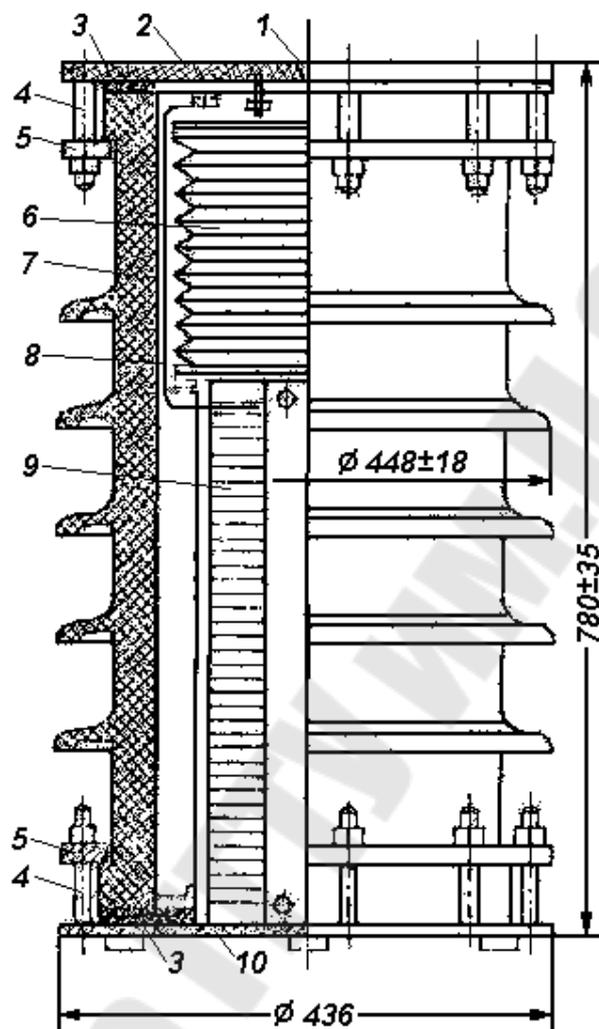


Рис. 5.6. Общий вид элемента конденсатора типа СМР-55√3-0,0044:

1 – винт; 2 – верхняя крышка; 3 – уплотнительное резиновое кольцо; 4 – болт; 5 – кольцо; 6 – расширители; 7 – фарфоровый корпус; 8 – диск из электрокартона; 9 – пакет конденсаторных секций; 10 – нижняя крышка

Пакеты и группы конденсаторных секций и мембранные коробки расширителей конструктивно соединены между собой и составляют выемную часть конденсаторного элемента.

Если установить конденсатор нижней крышкой первого элемента непосредственно на опорную заземленную конструкцию, то его нижняя обкладка окажется сразу же наглухо заземленной, а токи высокой частоты, минуя аппаратуру связи, уйдут в землю. Поэтому сво-

ей нижней токоведущей крышкой конденсатор всегда устанавливается на специальной изолирующей подставке.

Подставка выполняется в виде полого фарфорового корпуса, имеющий тот же диаметр, что и корпус опирающегося на нее элемента конденсатора. Подставка армируется двумя крышками, из которых на верхнюю опирается конденсатор, а нижней, подставка крепится к опорной конструкции или фундаменту.

5.3. Пример организации связи по линиям электропередачи

В качестве примера на рис. 5.7 приведена схема сложного ВЧ канала передачи информации: подстанция Марковичи - ПЭС Гомельских электрических сетей РУП «Гомельэнерго».

По каналу осуществляется передача информации телефонного канала, телемеханики, передача данных (оборудование СИМЭК). Связь между конечными подстанциями осуществляется через промежуточные подстанции «Кравцовка», «Зябровка» и «Новобелица». При этом на подстанции «Кравцовка» осуществлен обход по высокой частоте, на подстанции «Зябровка» - переприём по низкой частоте с одного комплекта ВЧ оборудования на другой, на подстанции «Новобелица» - переприём по низкой частоте на комплект цифровой кабельной аппаратуры, посредством которой информация передается на конечную подстанцию (головное предприятие). На конечной подстанции канал подключается к оборудованию автоматической телефонной станции (АТС) с помощью которой возможен выход абонента созданного канала связи к любому подключенному абоненту АТС, в том числе, и на абонентов других подстанций энергосистемы. Тональные сигналы телемеханики, СИМЭК, проходя через фильтры, поступают на головное оборудование телемеханики, где происходит процесс окончательной обработки полученной информации.

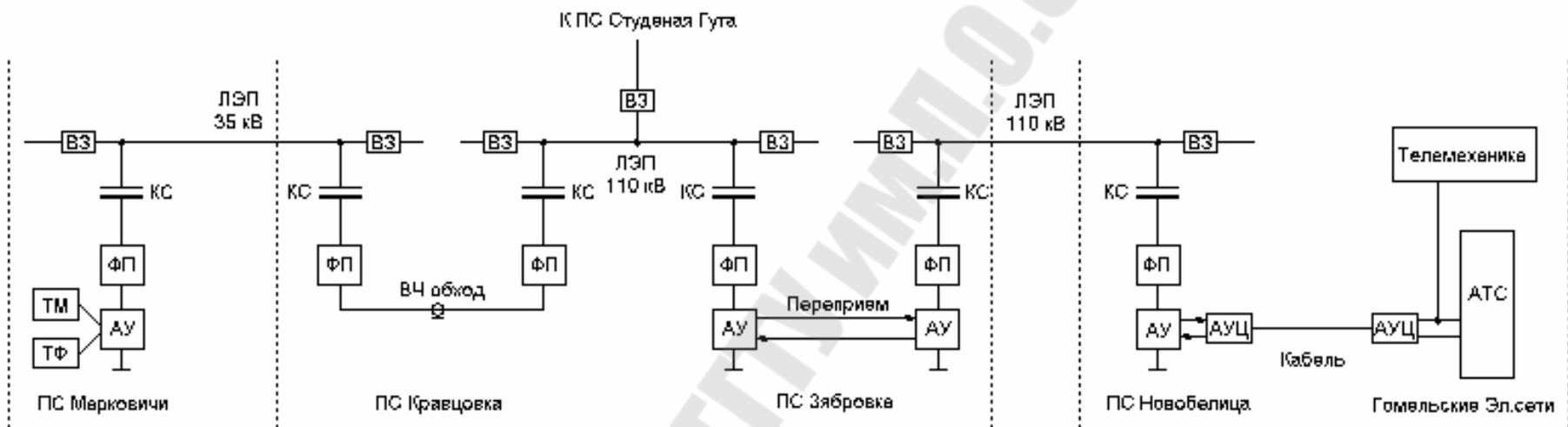


Рис. 5.7. Схема сложного ВЧ канала передачи информации: подстанция Марковичи-ПЭС Гомельских электрических сетей РУП «Гомельэнерго»

6. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ РЕЛЕЙНОЙ АВТОМАТИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

6.1. Микропроцессорные системы автоматического повторного включения

АПВ – автоматическое повторное включение – это разновидность автоматики, позволяющая возобновлять питание потребителей электроэнергии при его аварийном отключении от того же источника питания. Данный вид автоматики применяют на всех воздушных и смешанных (кабельно-воздушных) линиях напряжением выше 1000 В. Бывают также АПВ шин подстанций и АПВ силовых трансформаторов.

АПВ подразделяют на трёхфазные и однофазные. По числу циклов (кратности действия) бывают АПВ однократного действия и АПВ многократного действия. Трёхфазные АПВ, в свою очередь, бывают без контроля синхронизма (несинхронное) и с контролем синхронизма. АПВ с контролем синхронизма применяется при невозможности использования несинхронного АПВ и имеет две разновидности: АПВ с ожиданием синхронизма и АПВ с улавливанием синхронизма.

Упрощённая схема цепей АПВ микропроцессорного комплектного устройства защиты и автоматики присоединений 6-35 кВ фирмы «Бреслер» приведена на рис. 6.1.

Измеряемые напряжения на шинах подстанции через измерительный трансформатор напряжения TU подаются на соответствующие входы микропроцессорного блока A_1 . Оперативное напряжение с шинок управления $ШУ$ через коммутационные элементы (кнопки SB_1 , SB_2 и блокировочные контакты высоковольтного выключателя $Q_{1.1}$, $Q_{1.2}$) подаётся на соответствующие дискретные входы блока A_1 , а также на вход цепи питания этого блока.

Кнопки SB_1 и SB_2 предназначены для ручного управления высоковольтным выключателем. Блокировочный контакт высоковольтного выключателя $Q_{1.1}$ замыкается, если выключатель отключен, а контакт $Q_{1.2}$ замыкается, если выключатель включен. Оперативное напряжение через эти контакты подаётся на входы программного реле положения «Отключено» (РПО) и программного реле положения «Включено» (РПВ).

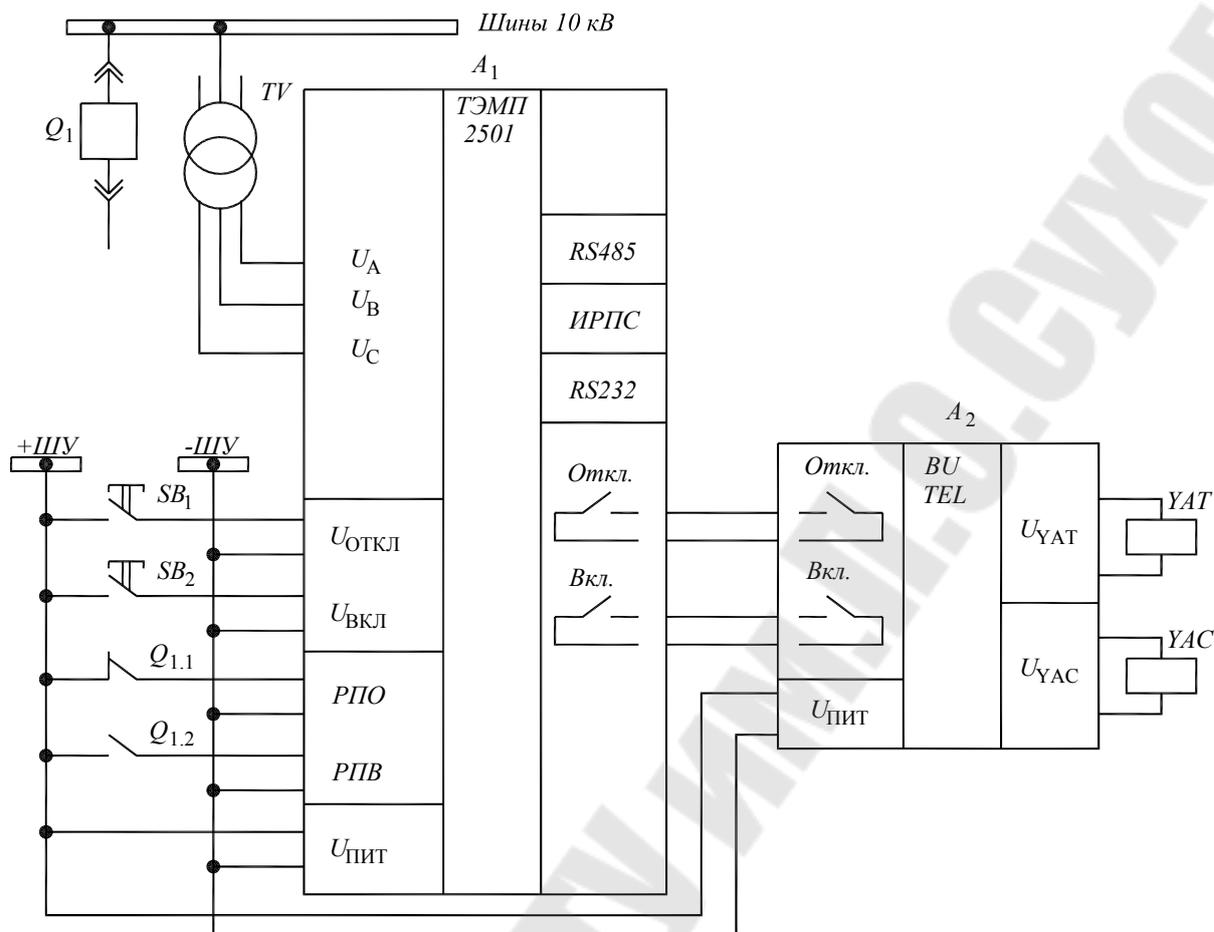


Рис. 6.1. Упрощённая схема микропроцессорного АПВ

Микропроцессорный блок A_1 имеет релейные выходы «Откл.» и «Вкл.», которые подключаются к соответствующим входам блока A_2 , представляющего собой комплектное устройство для оперативного управления высоковольтным выключателем путём подачи управляющих напряжений на электромагнит отключения выключателя YAT и электромагнит включения выключателя YAC .

В микропроцессорном блоке ТЭМП 2501 предусмотрена программная реализация следующих видов трёхфазного АПВ:

- несинхронного АПВ с повторным включением выключателя с одной стороны отключенной ЛЭП с контролем отсутствия напряжения, а с другой стороны с контролем наличия симметричного напряжения;
- ускоренного АПВ с временем действия от 0,05 с, осуществляемого при фиксировании первого срабатывания быстродействующей релейной защиты ЛЭП;

- с контролем наличия симметричных и синхронных или близких к синхронным напряжений с обеих сторон отключенного выключателя.

Микропроцессорный блок ТЭМП 2501 помимо классических функций АПВ, таких, как пуск по цепи несоответствия, недействие при включении выключателя ключом управления на короткое замыкание и других, позволяет выполнять дополнительные функции:

- оценку тяжести короткого замыкания, отключаемого релейной защитой, - при близких коротких замыканиях автоматически изменяется очерёдность повторного включения выключателей ЛЭП; первым включается более удалённый выключатель, что облегчает работу и существенно снижает износ выключателей;

- снижение тяжести возмущающего воздействия на электроэнергетическую систему при устойчивых коротких замыканиях за счёт ускорения действия защит повторно включаемого выключателя.

При неуспешном повторном включении выключателя блок ТЭМП 2501 выдаёт соответствующую информацию в общеэнергосистемную противоаварийную автоматику нарушения устойчивости. Осуществляется самодиагностика и выдаётся информация о неисправностях.

Блок ТЭМП 2501 оснащён интерфейсами RS232 для связи с компьютером, ИРПС и RS485 для телемеханической связи.

Функционально-логическая схема микропроцессорного АПВ приведена на рис. 6.2. На этой схеме логические операции показаны в виде стандартных обозначений логических элементов «И», «ИЛИ», «НЕ» (кружок в логических блоках). Переключения логических блоков происходят путём подачи условных логических нулей и единиц.

На рис. 6.3 приведены возможные сочетания логических уровней на входах блоков «Режим 1 АПВ» и «Режим 2 АПВ» в схеме рис. 6.2 и соответствующие им условия включения высоковольтного выключателя при АПВ.

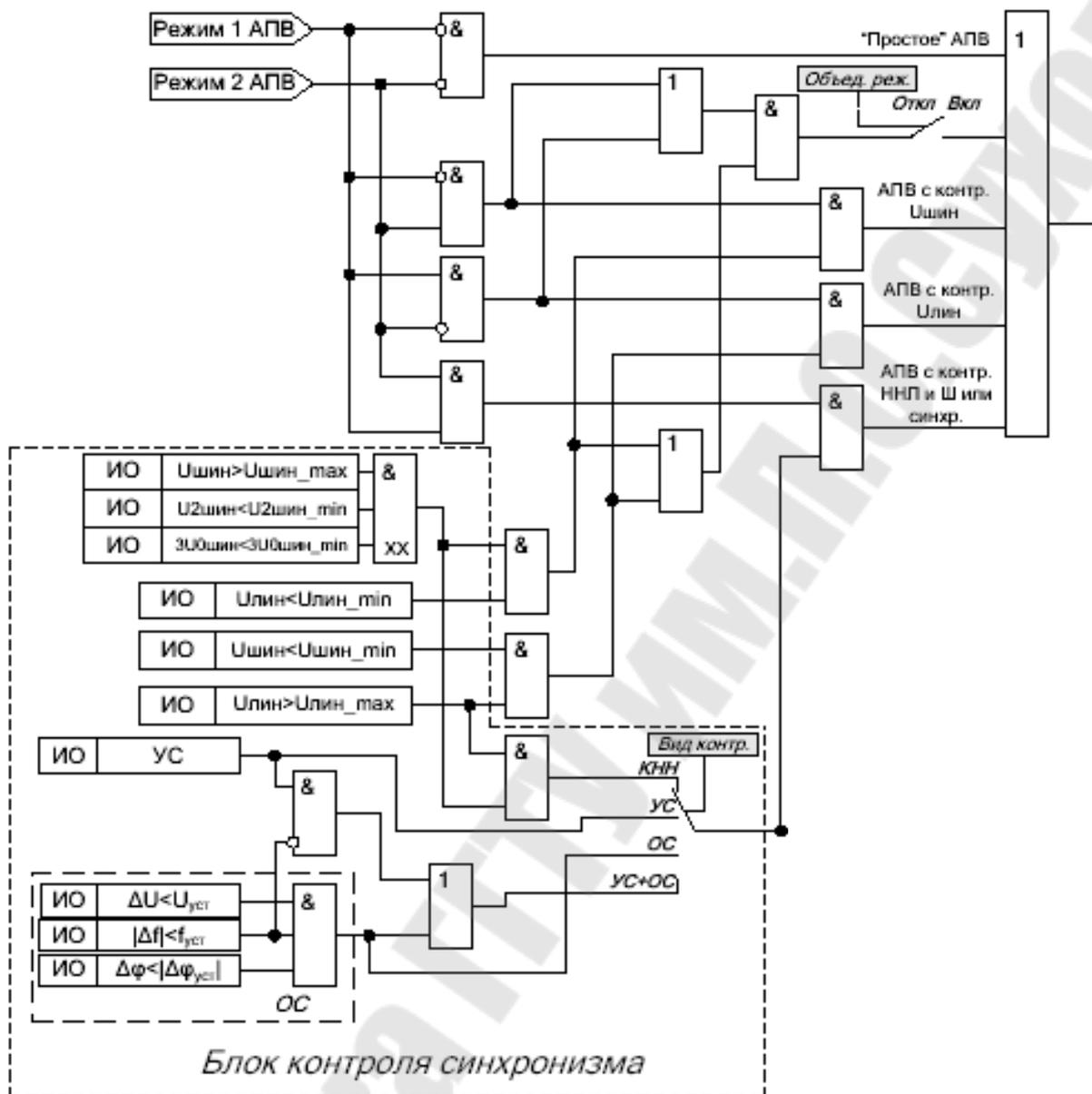


Рис. 6.2. Функционально-логическая схема микропроцессорного АПВ: ИО – измерительный орган; ННЛ и Ш – наличие напряжения на линии и шинах; КНН – контроль наличия напряжения; УС - улавливание синхронизма; ОС –ожидание синхронизма

№ режима	Вход «Режим 1 АПВ»	Вход «Режим 2 АПВ»	Вид контроля при включении выключателя	Условия включения
1	0	0	Включение без контроля напряжений	Контроль напряжений на линиях и шинах не осуществляется
2	0	1	Постановка под напряжение линии по отсутствию напряжения	$U_{\text{линии}} > U_{\text{линии, макс}}$ $U_{\text{шины}} < U_{\text{шины, макс}}$ $U_{2\text{ шин}} < U_{2\text{ шин}}$ $3I_{0\text{ шин}} < 3I_{0\text{ доп}}$
3	1	0	Постановки под напряжение шин по отсутствию напряжения	$U_{\text{шины}} < U_{\text{шины, макс}}$ $U_{\text{линии}} > U_{\text{линии, макс}}$
4	1	1	Включение с КС	$U_{\text{линии}} > U_{\text{линии, макс}}$ $U_{\text{шины}} > U_{\text{шины, макс}}$ $U_{2\text{ шин}} < U_{2\text{ шин}}$ $3I_{0\text{ шин}} < 3I_{0\text{ доп}}$ Условие синхронизма при ОС для УС

Рис. 6.3. Условия включения выключателя

6.2. Микропроцессорные системы автоматического ввода резерва

АВР – автоматический ввод резерва – разновидность автоматики, обеспечивающая резервирование цепей питания потребителей электроэнергии от независимого источника питания. Различают два основных вида АВР: АВР подстанций и сетевое АВР. В первом случае осуществляется резервирование между секциями шин подстанции. Сетевое АВР обеспечивает резервирование участка распределительной сети от другого независимого участка.

На рис. 6.4 приведена упрощённая схема АВР подстанций, реализованная на основе микропроцессорного блока TOP 200-C фирмы «Бреслер». Данная схема реализует АВР секции шин с контролем остаточного напряжения на секции, а также автоматическое восстановление схемы исходного режима. Непосредственно воздействие осуществляется на высоковольтный выключатель Q_3 . Используя релейный выход «АВР» или интерфейсные выходы, можно осуществлять воздействие на выключатели Q_1 и Q_2 в соответствии с алгоритмом АВР.

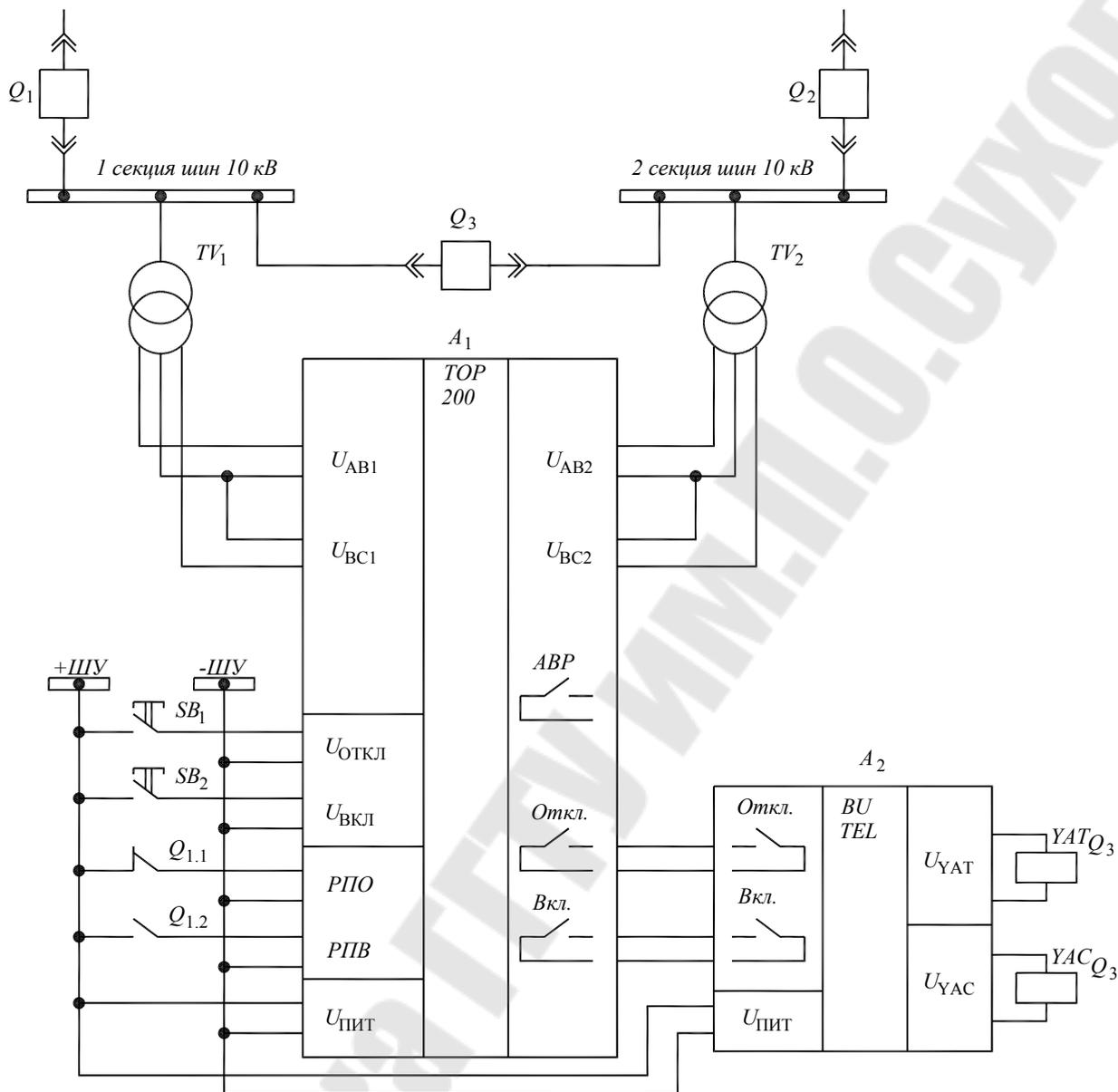


Рис. 6.4. Схема секционного АВР

Упрощённая схема сетевого АВР на основе блока «ТОР 200-КСА» приведена на рис. 6.5. В данной схеме непосредственно воздействие осуществляется на высоковольтный выключатель Q_1 . Используя релейный выход «АВР» или интерфейсные выходы, можно осуществлять воздействие на выключатели Q_2 и Q_3 в соответствии с алгоритмом АВР.

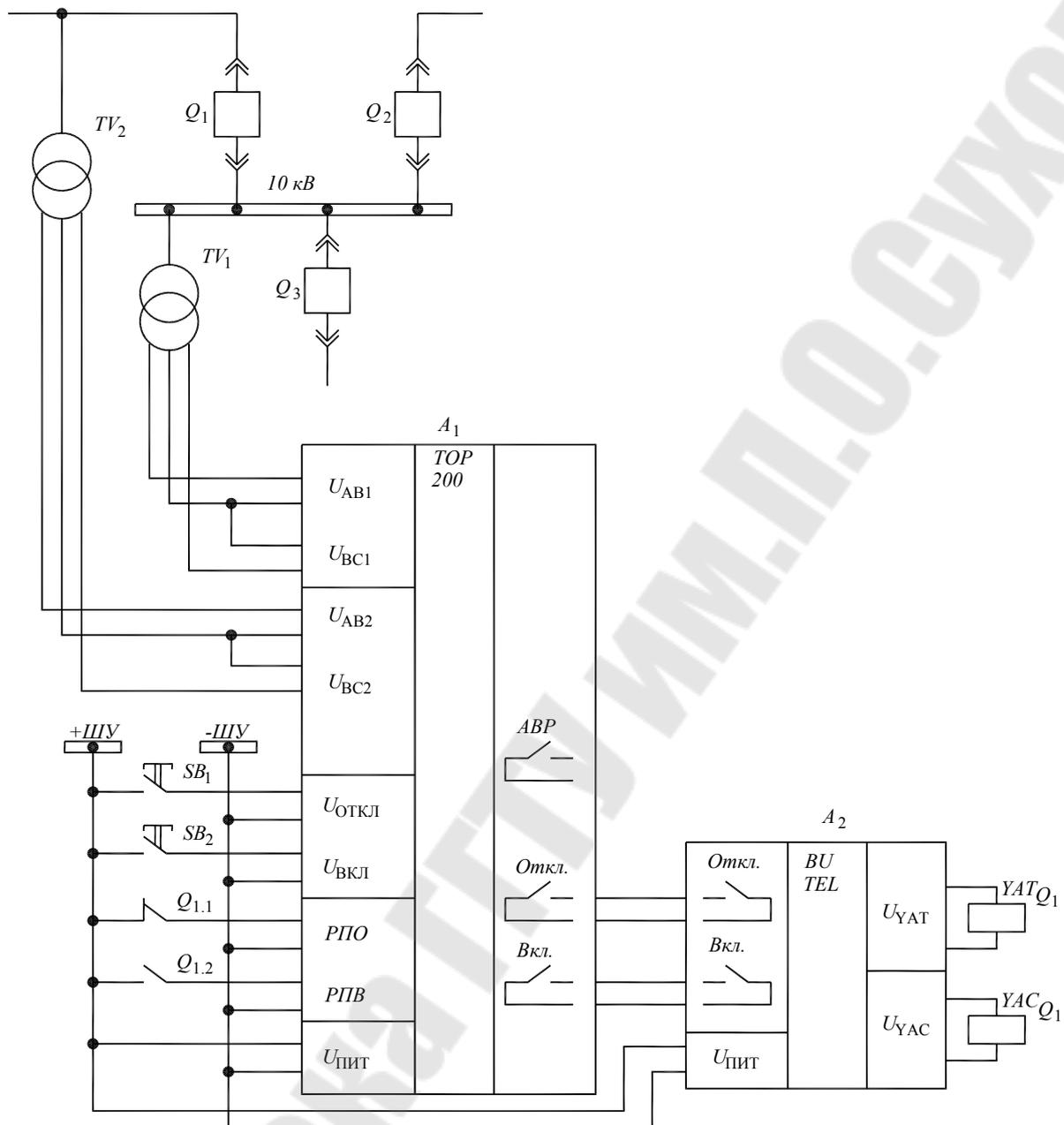


Рис. 6.5. Схема сетевого АВР

Терминалы «ТОР 200-КСА» предназначены для работы в распределительной сети 6–10 кВ и устанавливаются непосредственно в пунктах секционирования. Контроллер выполняет функции сетевой автоматики с обеспечением автоматического отключения поврежденного участка, автоматического повторного включения линии (АПВ), автоматического выделения поврежденного участка, автоматического восстановления питания на неповрежденных участках сети (АВР). Имеется встроенная диагностика ресурса выключателя и локатор по-

вреждения при междуфазных замыканиях на линии, показывающий расстояние до места повреждения.

Имеются следующие функции управления выключателем:

- дистанционное управление от автоматической системы управления трансформаторной подстанцией;
- местное управление от ключей на двери релейного шкафа;
- местное управление с кнопок на лицевой панели;
- блокировка от многократных включений выключателя;
- контроль цепей управления (РПО, РПВ), контроль давления элегаза.

6.3. Микропроцессорные системы автоматической частотной разгрузки

АЧР – автоматическая частотная разгрузка – разновидность автоматики, позволяющая постепенно (очередями) отключать потребителей электроэнергии при недопустимом понижении частоты в энергосистеме в режиме дефицита активной мощности до достижения требуемого значения этой частоты.

Упрощённая схема АЧР в три очереди на основе блока «ТОР 200-КЧР22» приведена на рис. 6.6.

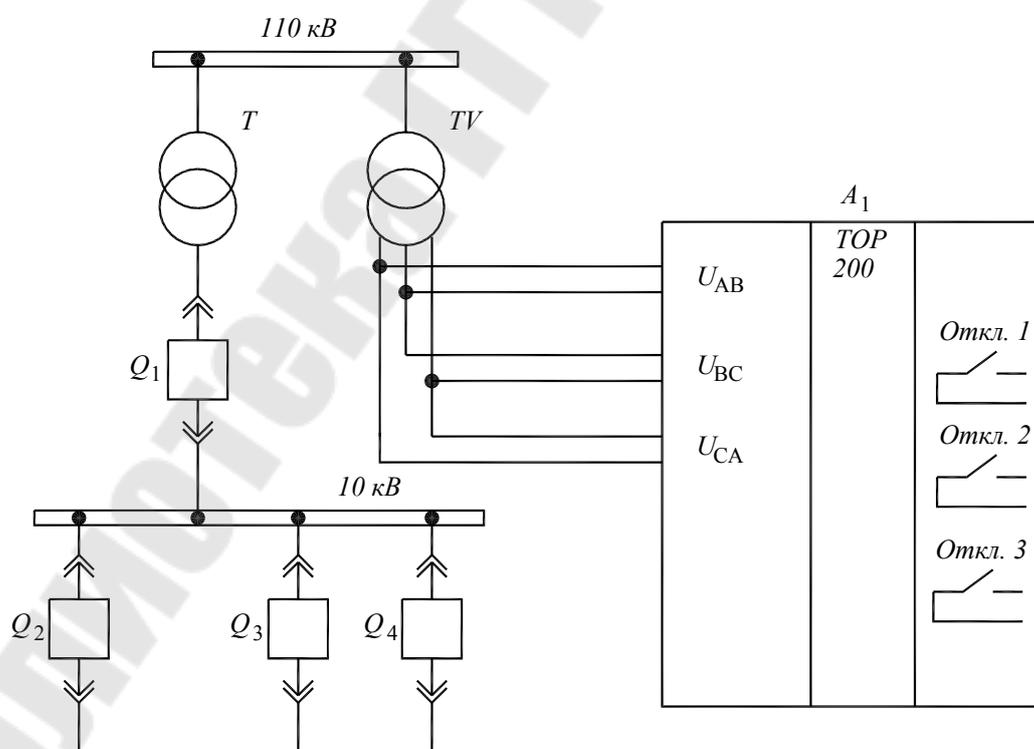


Рис. 6.6. Схема АЧР

В данной схеме блок «ТОР 200-КЧР22» выполняет отключение потребителей тремя очередями АЧР при дефиците активной мощности в сети посредством воздействия на выключатели $Q_2 \dots Q_4$. Включение потребителей производится как в ручном, так и в автоматическом режиме. Предусмотрено ручное прерывание циклов частотного АПВ, а также блокирование действия автоматики.

6.4. Автоматика регулировки напряжения силового трансформатора

Автоматическое управление устройством РПН силового трансформатора может осуществляться с помощью микропроцессорных устройств. На рис. 6.7. приведена упрощённая схема автоматики РПН, выполненной на основе блока «ТОР 200-Р» фирмы «Бреслер».

Воздействие на привод РПН силового трансформатора T осуществляется посредством команд «Повысить» и «Понизить», которые определяются положением соответствующих релейных выходов микропроцессорного блока.

Устройство обеспечивает местное или дистанционное управление РПН, а также диагностику привода регулятора. Реализовано автоматическое изменение уставок регулирования по суточному графику и календарю рабочих и выходных дней. ТОР 200-Р имеет встроенный указатель положения привода РПН и выносной цифровой индикатор для установки на двери шкафа, панели или щите. С помощью указателя положения РПН реализованы функции программного ограничения крайних положений РПН и программируемый пропуск неиспользуемых ступеней привода.

Блокирование работы регулятора осуществляется при:

- перегрузке трансформатора;
- при превышении допустимого напряжения;
- при появлении напряжения обратной последовательности;
- снижении напряжения ниже уставки;
- обнаружении замыкания на землю;
- неисправности регулятора и устройства.

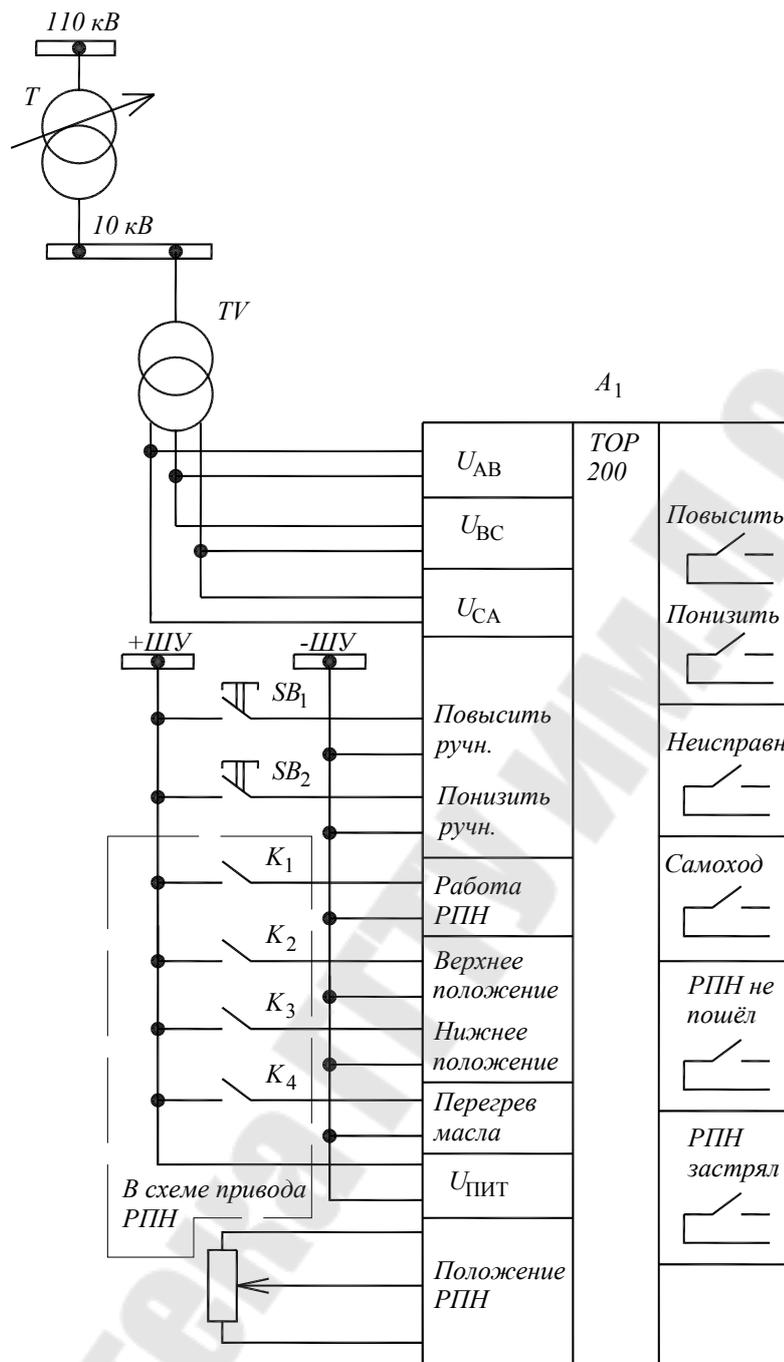


Рис. 6.7. Автоматика РПН силового трансформатора

Устройство «TOP 200-Р» позволяет управлять РПН:

- двухобмоточного трансформатора с контролем напряжения обратной последовательности U_2 ;
- трёхобмоточного трансформатора с контролем U_2 и напряжения стороны СН;
- трансформатора с «расщепленной» обмоткой с автоматическим выбором плеча;

- автотрансформатора с контролем U_2 и напряжения стороны НН.

Возможны следующие виды управления:

- местное (кнопками с лицевой панели терминала SA_1 , SA_2 или выносными ключами) управление регулятором;
- дистанционное (через интерфейсы связи) управление регулятором;
- расчёт механического ресурса привода;
- контроль времени пуска и переключения привода с выдачей аварийного сообщения;
- контроль крайних положений привода;
- останов РПН при достижении позиций, определяемых пользователем;
- контроль превышения допустимого значения температуры масла;
- контроль самопроизвольной работы регулятора с правильным отключением привода РПН;
- индикация хода привода регулятора.

6.5. Автоматика ограничения снижения напряжения

Комплектные устройства «ТОР 200-АСН» фирмы «Бреслер» применяются также для выполнения функций сетевой автоматики при снижении напряжения (АОСН). На понизительных подстанциях отключение потребителей осуществляется, главным образом, на напряжении 6-10 кВ (подобно АЧР на рис. 6.6) в две очереди. После восстановления нормальных значений напряжения осуществляется АПВ отключенных потребителей по напряжению (АПВН), аналогично частотному АПВ (ЧАПВ).

Осуществляется блокирование АОСН по:

- появлению напряжения обратной последовательности;
- появлению напряжения нулевой последовательности;
- дискретному входу;

Производится запись действующих значений напряжений в сети с частотой выборки 200 Гц.

Дополнительные возможности:

- ручное отключение потребителей первой и второй очереди;
- ручное включение потребителей первой и второй очереди;
- контроль напряжения соседней секции;
- оперативный вывод автоматики из работы с помощью ключа.

7. СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

7.1. Общие принципы построения систем телемеханики

Телемеханика (*telecontrol*) – это отрасль техники и техническая наука об управлении и контроле на расстоянии посредством преобразования управляющих воздействий и контролируемых параметров в сигналы, передаваемые по каналам связи.

Различают следующие виды телемеханических передач: телеизмерение, телесигнализация, телеуправление и телерегулирование.

Телеизмерение (*telemetry*) – это передача по каналам связи значений непрерывно изменяющихся параметров контролируемых процессов: напряжения, токов, мощности и т.д.

Телесигнализация (*teleindication*) – это передача дискретных сигналов о состоянии контролируемого оборудования: положения высоковольтных выключателей, разъединителей, номер позиции РПН трансформаторов, уставок РЗА и т.д.

Телеуправление (*telecommand*) – это передача по каналам связи команд от диспетчера (оператора) к коммутационным аппаратам для изменения их положения.

Телерегулирование (*teleregulation*) – это передача управляющих воздействий типа «больше - меньше», «повысить - понизить» и других от диспетчера к регулятору, установленному на контролируемом пункте.

По способу передачи системы телемеханики бывают циклические и спорадические.

В **циклических** системах телемеханики обмен данными происходит постоянно.

В **спорадических** системах телемеханики обмен данными происходит либо по запросу диспетчера, либо по достижении контролируемых параметров необходимых значений (адаптивные системы телемеханики).

По количеству каналов информации, содержащихся в одном канале связи, бывают **одноканальные** и **многоканальные** системы телемеханики. Многоканальные системы, в свою очередь, делятся на системы с разделением каналов во времени и системы с разделением каналов по частоте передачи.

Обобщённая структурная схема системы телемеханики электрических сетей приведена на рис. 7.1.

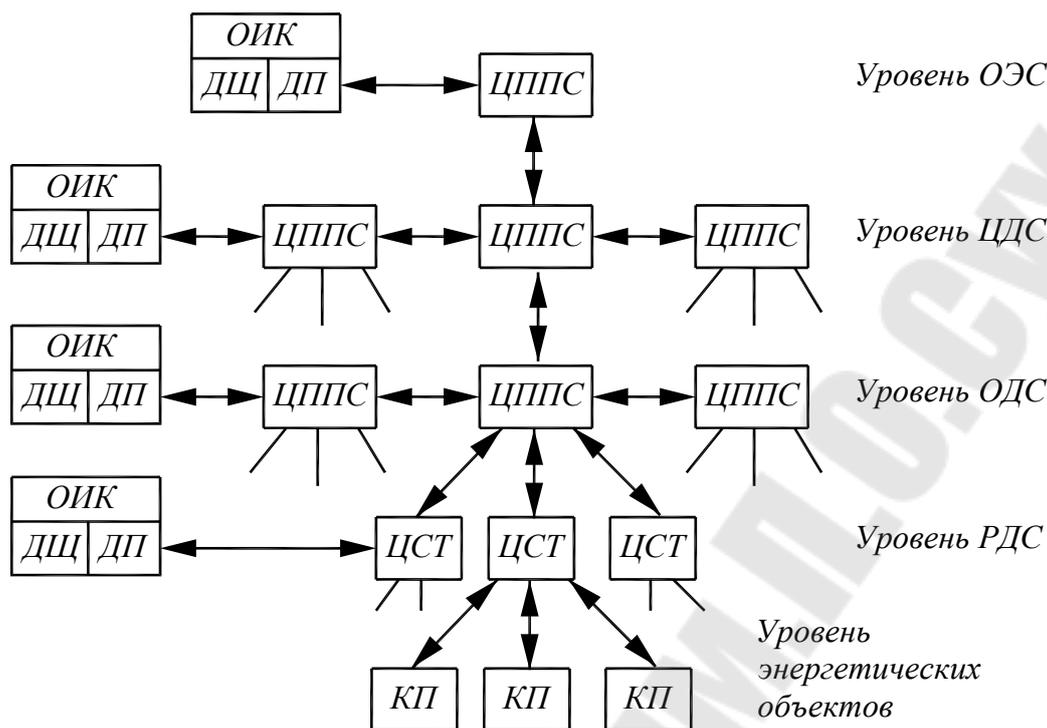


Рис. 7.1. Обобщённая структурная схема системы телемеханики: КП – контролируемый пункт; ЦСТ – центральная станция телемеханики; ЦППС – центральная приёмно-передающая станция; ОИК – оперативно-информационный комплекс; ДП – диспетчерский пульт; ДЩ – диспетчерский щит; РДС – районная диспетчерская служба; ОДС – оперативно-диспетчерская служба; ЦДС – центральная диспетчерская служба; ОЭС – объединённая энергосистема

Схема, приведенная на рис. 7.1, представляет собой автоматизированную систему диспетчерского управления (АСДУ) в электрических сетях.

На первом уровне системы телемеханики находятся объекты управления, с которыми осуществляется удалённая связь. Объекты, расположенные рядом, условно объединяют в контролируемые пункты (КП). Данные с КП поступают телемеханические концентраторы – центральные станции телемеханики (ЦСТ), собирающие данные, как правило, в пределах одной подстанции. С ЦСТ данные передаются на оперативно-информационный комплекс (ОИК) уровня районной диспетчерской службы (РДС) электрических сетей. ОИК включает диспетчерский пульт (ДП) и диспетчерский щит (ДЩ).

Помимо ОИК РДС данные с ЦСТ передаются на следующий уровень – центральные приёмно-передающие станции (ЦППС), кото-

рые связаны между собой по лучевой схеме, а также с ОИК оперативно-диспетчерских служб (ОДС).

Посредством ЦППС происходит передача данных и на самые высокие уровни телемеханики – центральных диспетчерских служб (ЦДС) и объединённой энергосистемы (ОЭС).

В Республике Беларусь диспетчерские службы находятся в непосредственном подчинении главному диспетчеру ОЭС. ЦДС – это уровень областных энергосистем, ОДС обслуживает электрические сети нескольких районов, РДС – уровень района электрических сетей.

Рабочее место диспетчера находится непосредственно за оборудованием ОИК.

Диспетчерский пульт – приборная панель рабочего места диспетчера. Он представляет собой, как правило, один или несколько персональных компьютеров, а также телефонные аппараты. Основное назначение этого пульта – передача команд диспетчера и отображение принятых команд на мониторах компьютеров.

Диспетчерский щит – панель, на которой отображена схема электрической сети (мнемосхема) с выделением состояния элементов. Щиты бывают двух основных видов: мозаичного типа и электронные.

Щит мозаичного типа показан на рис. 7.2.



Рис. 7.2. Диспетчерский щит мозаичного типа

Электронный щит, установленный в Московском районном диспетчерском управлении, показан на рис. 7.3.



Рис. 7.3. Электронный диспетчерский щит

На щите мозаичного типа положения коммутационных аппаратов могут быть отображены как путём поворота соответствующих переключателей, так и с помощью светодиодов.

На электронном щите имеется возможность динамического перемещения изображения.

7.2. Телесигнализация и телеуправление

Обобщённая структурная схема системы телесигнализации приведена на рис. 7.4.

Коммутационные устройства (КУ), представляющие собой контакты положения коммутационных аппаратов, концевые выключатели, или тумблеры, подключаются к датчикам положения устройств (ДПУ), вырабатывающим требуемые двоичные коды положения устройств. Эти коды, а также коды с других КП посредством интерфейсов связи передаются в контроллер телемеханики (КТ), который вы-

полняет функции сетевого концентратора и с помощью модулятора (МД) передаёт коды сигнализации по линии связи (ЛС). На противоположном конце линии связи с помощью демодулятора (ДМ) модулированный сигнал преобразуется в двоичные коды положения устройств, которые через контроллер телемеханики поступают в ОИК.

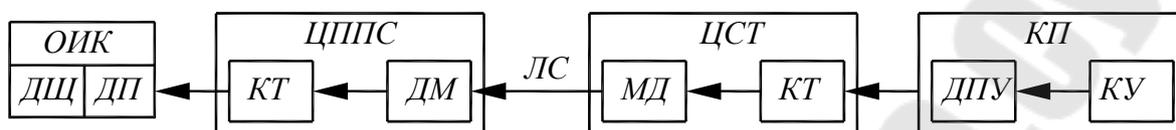


Рис. 7.4. Обобщённая структурная схема системы телесигнализации: КУ – коммутационные устройства; ДПУ – датчики положения устройств; КТ – контроллер телемеханики; МД – модулятор; ДМ – демодулятор; ЛС – линия связи

Положения устройств отображаются в виде сигналов на экране диспетчерского пульта или диспетчерского щита. При этом существуют метод светлого щита и метод тёмного щита. В первом случае положения включенных устройств отображаются светящимися элементами. Во втором случае светящимися элементами отображаются только устройства, недавно изменившие своё положение. Светящиеся элементы гасятся, когда положение устройства зафиксировано диспетчером. Метод тёмного щита применяется для мнемосхем с большим количеством элементов.

Обобщённая структурная схема системы телеуправления приведена на рис. 7.5.

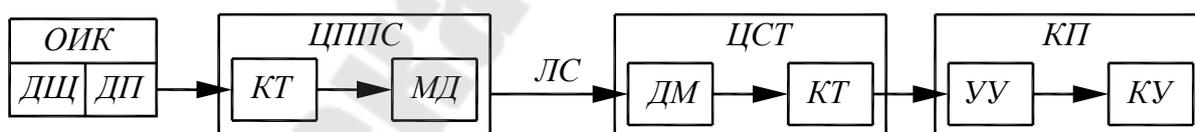


Рис. 7.5. Обобщённая структурная схема системы телеуправления

При телеуправлении команды управления в виде двоичных кодов через контроллер телемеханики поступают на модулятор, передаются по линии связи, снова преобразуются в двоичные коды демодулятором, затем через контроллер телемеханики подаются на устройство управления (УУ) коммутационными устройствами (КУ). Устройство управления содержит, как правило, набор промежуточных реле, контакты которых включаются в оперативные цепи управления коммутационными аппаратами.

Системы телесигнализации и телеуправления обычно реализуются одновременно. Для передачи по линии связи используются уни-

версальные устройства – модемы, - позволяющие как модулировать двоичные коды, так и демодулировать их.

7.3. Телеизмерение

Обобщённая структурная схема системы телеизмерения приведена на рис. 7.6.

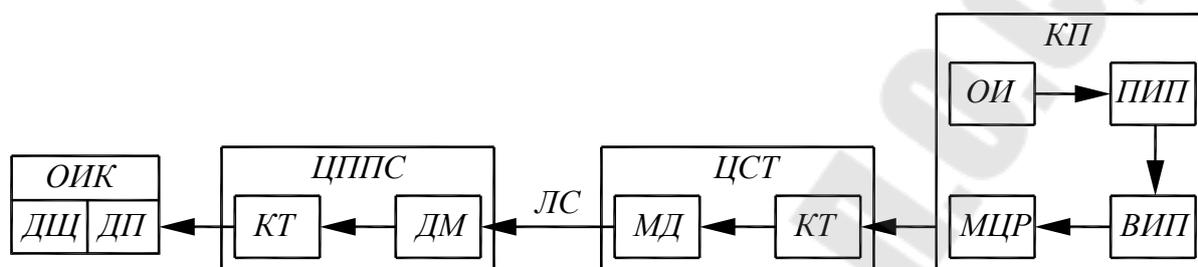


Рис. 7.6. Обобщённая структурная схема системы телеизмерения

В процессе телеизмерения передача данных от КП к ОИК происходит аналогично тому, как это реализовано в системе телесигнализации. Основное отличие заключается в расположении оборудования на КП. К объектам измерения (ОИ) подключены первичные измерительные преобразователи (ПИП). В случае измерения электрических величин это измерительные трансформаторы напряжения и тока, а в случае неэлектрических величин (температуры, давления, и т.д.) – это соответствующие датчики. Первичные измерительные преобразователи формируют напряжения или токи, которые подаются на вторичные измерительные преобразователи (ВИП). На выходах эти преобразователей также формируются напряжения и токи, но их значения соответствуют требуемым для работы многоканального цифрового регистратора (МЦР), преобразующего измеряемые аналоговые величины в пропорциональные двоичные коды и передающего их в контроллер телемеханики. Иногда ВИП и МЦР объединяют в одном приборе.

Бывают два способа телеизмерения. При первом способе осуществляется передача рассчитанных действующих или средних значений измеряемых величин за некоторый интервал времени. Это способ характеризуется относительно невысокой загруженностью линии связи. При втором способе по линии связи передаются отчёты мгновенных значений измеренных величин сплошным потоком. В данном случае предъявляются особые требования к пропускной способности линии связи, быстродействию оборудования и объёму памяти микропроцессорных систем.

7.4. Телерегулирование

Телерегулирование с участием диспетчера используется для обеспечения устойчивости энергосистемы и поддержания её режимных параметров (напряжения и частоты) в заданных пределах.

Системы телерегулирования структурно включают в себя систему телеуправления (рис. 7.5) и систему телеизмерения (рис. 7.6) с применением модемов. При этом система телеуправления используется как прямой тракт регулирования, а система телеизмерения как обратная связь регулирования.

В процессе регулирования диспетчер воздействует на положение высоковольтных выключателей, а также на положение РПН силовых трансформаторов.

8. СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Диагностика – это область знаний, включающая теорию, методы и средства для определения технического состояния оборудования. Процесс диагностики называют **диагностированием** оборудования.

8.1. Системы диагностики силовых трансформаторов

Масляные трансформаторы мощностью 1000 кВА и выше в обязательном порядке оснащаются термометром с электроконтактным выходом для реализации тепловой защиты, действующей в большинстве случаев на сигнал. Термометр, как правило, устанавливают в верхней части бака трансформатора, где температура масла максимальна. В качестве уставки принимают максимально допустимую температуру масла для систематических нагрузок трансформатора, в соответствии с ГОСТ 14209-85 равную 95°С.

В последние годы в электроэнергетике все большее распространение получают многофункциональные микропроцессорные устройства релейной защиты (МПРЗ). Один блок МПРЗ позволяет реализовать десятки различных функций защит и видов измерений. В программное обеспечение МПРЗ можно включать алгоритмы высокой сложности, анализируя защищаемый объект по множеству параметров. Это относится и к тепловой защите трансформатора.

Современные системы МПРЗ трансформаторов типа SEPAM, SPACOM и т.д. позволяют осуществлять контроль значений температуры масла в верхних и нижних слоях бака масла трансформатора, а также температуры обмотки трансформатора и температуры на входах и выходах охладителей. Эти значения могут контролироваться как непосредственно с помощью термодатчиков, так и прогнозироваться косвенно на основе математических моделей.

Вначале проанализируем факторы, обуславливающие аномальные тепловые процессы в силовых трансформаторах. Одна или более частей трансформатора могут быть перегреты по трем основным причинам:

- 1) из-за перегрузки трансформатора;
- 2) из-за высокой загрузки трансформатора и высокой температуры воздуха;
- 3) из-за неисправности системы охлаждения или внутренних повреждений трансформатора.

Первые два фактора относятся к полностью исправному трансформатору. В этих случаях трансформатор перегрет по естественным причинам. Третий фактор свидетельствует о том, что трансформатор перегрет не естественно, то есть аномально. Если температуры частей поврежденного или имеющего неисправности трансформатора не превышают критических значений, но выше аналогичных значений в полностью исправном трансформаторе, то имеет место аномальный (не естественный) нагрев трансформатора.

Можно выделить следующие основные причины аномального нагрева или аномального перегрева одной или более частей масляного трансформатора:

1) нарушение условий охлаждения из-за перекрытия охлаждающих каналов циркулирующего масла разбухшей изоляцией или накопившимся шламом;

2) межвитковые короткие замыкания или короткозамкнутые контуры в шихтованном магнитопроводе;

3) повышенные диэлектрические потери твердой изоляции и трансформаторного масла;

4) разуплотнение конструктивных элементов трансформатора и, как следствие, повышенное влияние магнитного потока рассеяния, нагревающего эти элементы.

Аномально могут быть нагреты отдельные участки трансформатора или же весь трансформатор в целом. Следовательно, необходимо различать локальный и общий аномальный нагрев трансформатора. Таким образом, можно сформулировать следующие термины для аномальных тепловых режимов силовых трансформаторов.

Естественный перегрев - это превышение температуры одной или более частей полностью исправного силового трансформатора по сравнению с предельно допустимой температурой этих частей.

Аномальный перегрев - это превышение температуры одной или более частей неисправного силового трансформатора по сравнению с предельно допустимой температурой этих частей.

Аномальный нагрев – это более высокое значение температуры одной или более частей неисправного силового трансформатора по сравнению с температурой, которая имела бы место в полностью исправном трансформаторе при прочих равных условиях. Частным случаем аномального нагрева является аномальный перегрев трансформатора.

Классификация аномальных тепловых режимов силовых трансформаторов проиллюстрирована на рис. 8.1.

Рассмотрим принципы выявления каждого из этих режимов.

Пусть ϵ_m и $\epsilon_{\text{ННТ}}$, соответственно, непосредственно измеренные температура верхних слоёв масла трансформатора и температура обмотки, то есть температура наиболее нагретой точки (ННТ) трансформатора. Тогда алгоритм выявления перегрева трансформатора можно записать следующим образом:

$$R_0 = (\epsilon_m \geq \theta_{m.\text{макс}}) \vee (\epsilon_{\text{ННТ}} \geq \theta_{\text{ННТ.макс}}), \quad (8.1)$$

где R_0 - булева функция; \vee - знак дизъюнкции (логическое ИЛИ); $\theta_{m.\text{макс}}$, $\theta_{\text{ННТ.макс}}$ - максимально допустимые значения соответствующих температур.

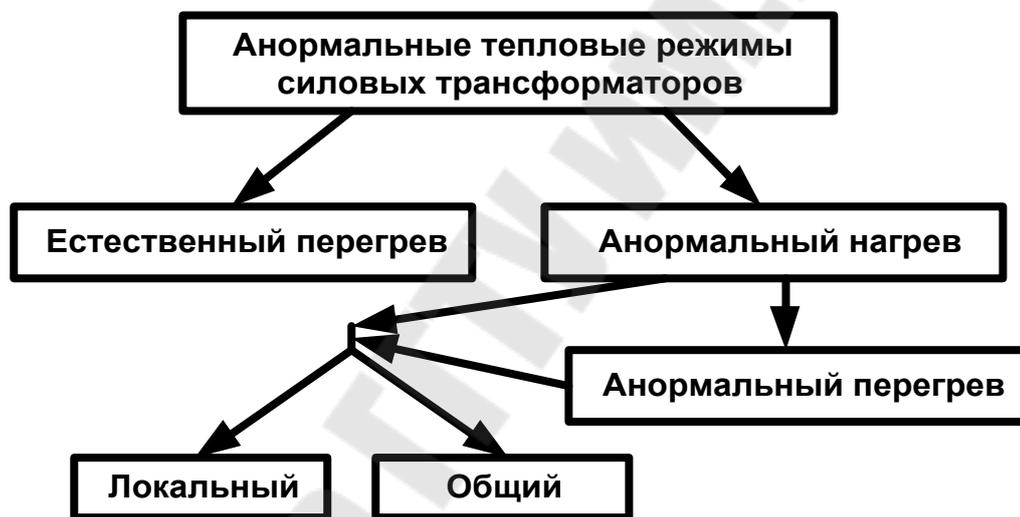


Рис. 8.1. Классификация аномальных тепловых режимов силовых трансформаторов

Булева функция R_0 введена в качестве ситуационного индикатора. Если $R_0 = 1$, то трансформатор перегрет, в противном случае $R_0 = 0$.

В соответствии с алгоритмом (8.1) работают практически все существующие системы тепловой защиты трансформатора, в том числе и МПРЗ. Однако такой алгоритм не позволяет выявить тип перегрева трансформатора (естественный или аномальный) и тем более выявить аномальный нагрев трансформатора. Эту проблему можно решить, расширив программное обеспечение МПРЗ путем введения алгоритмов, функционирующих на основе математических моделей тепловых процессов масляных трансформаторов. Такие модели должны учитывать значения температуры окружающей среды, значе-

ния токов нагрузки трансформатора, количество задействованных охлаждающих устройств, паспортные данные трансформатора, и быть достаточно точными для полностью исправного трансформатора.

Пусть θ_M и $\theta_{\text{ННТ}}$ - соответствующие температуры, рассчитанные по достаточно точной математической модели, имеющей максимальную абсолютную погрешность $\Delta\theta_{\text{макс}}$. Разность между непосредственно измеренной и рассчитанной по математической модели температурами будем называть **характеристической разностью**. Для каждой из рассматриваемых температур характеристическая разность запишется в виде:

$$\Delta\theta_M = \epsilon_M - \theta_M; \Delta\theta_{\text{ННТ}} = \epsilon_{\text{ННТ}} - \theta_{\text{ННТ}}. \quad (8.2)$$

Характеристическая разность позволяет выявлять аномальный нагрев и перегрев трансформатора. Для этого ее необходимо сравнить со значением абсолютной погрешности математической модели $\Delta\theta_{\text{макс}}$. Алгоритмы выявления различных аномальных тепловых режимов масляных трансформаторов сведены в табл. 8.1. При этом по аналогии с алгоритмом (8.1) использованы булевы функции $R_1 \dots R_4$, а также знак дизъюнкции \vee (логическое ИЛИ), знак конъюнкции \wedge (логическое И) и знак инверсии \bar{X} (логическое отрицание).

Таблица 8.1

Алгоритмы выявления аномальных тепловых режимов силового масляного трансформатора

Тип теплового режима	Алгоритм
Общий аномальный перегрев	$R_1 = (\Delta\epsilon_M \geq \Delta\theta_{\text{макс}}) \wedge (\Delta\epsilon_{\text{ННТ}} \geq \Delta\theta_{\text{макс}}) \wedge R_0$
Локальный аномальный перегрев	$R_2 = (\Delta\epsilon_M \geq \Delta\theta_{\text{макс}}) \vee (\Delta\epsilon_{\text{ННТ}} \geq \Delta\theta_{\text{макс}}) \wedge R_0 \wedge \bar{R}_1$
Общий аномальный нагрев	$R_3 = (\Delta\epsilon_M \geq \Delta\theta_{\text{макс}}) \wedge (\Delta\epsilon_{\text{ННТ}} \geq \Delta\theta_{\text{макс}})$
Локальный аномальный нагрев	$R_4 = (\Delta\epsilon_M \geq \Delta\theta_{\text{макс}}) \vee (\Delta\epsilon_{\text{ННТ}} \geq \Delta\theta_{\text{макс}}) \wedge \bar{R}_3$

Очевидно, что понятие уставки для тепловой защиты трансформатора необходимо расширить. Можно различать фиксированные уставки, равные максимально допустимым температурам, то есть в рассматриваемом случае значениям $\theta_{M,\text{макс}}$ и $\theta_{\text{ННТ},\text{макс}}$, а также переменные

уставки, получаемые расчетным путем на основе математических моделей, то есть равные значениям θ_m и $\theta_{\text{ннт}}$.

Аномальный нагрев однозначно указывает на наличие неисправности в трансформаторе и факт ее обнаружения тепловой защитой позволяет судить в той или иной мере о техническом состоянии трансформатора. Следовательно, такая защита обладает функциями диагностирования. В связи с этим тепловую защиту трансформатора, функционирующую в соответствии с вышеизложенными алгоритмами, следует называть диагностической тепловой защитой.

В теории диагностики при формулировке технического диагноза используют ранжирование типа «плохо», «удовлетворительно», «хорошо» и так далее. Аналогичные характеристики можно предусмотреть и для диагностической тепловой защиты. Назовем их **уровнями опасности аномального нагрева** трансформатора. Будем различать низкий, средний, высокий и очень высокий уровни опасности.

При **низком уровне опасности** вероятность возникновения аварии на трансформаторе из – за наличия режима аномального нагрева пренебрежимо мала. Поэтому в данном случае действие защиты должно быть на визуальный сигнал (зажигание сигнальной лампы или выдача соответствующего сообщения на экране ПЭВМ), а дежурный персонал должен записать дату и время обнаружения режима аномального нагрева.

Средний уровень опасности показывает, что имеется некоторая вероятность возникновения аварии на трансформаторе. В данном случае действие защиты должно быть и на визуальный и на звуковой сигнал. Дежурный персонал обязан поставить в известность вышестоящее лицо. При среднем уровне опасности необходимо принять решение о внеочередном осмотре и испытании изоляции трансформатора.

При **высоком уровне опасности** возникновение аварийной ситуации на трансформаторе можно считать достаточно вероятным. Здесь, как и при среднем уровне, действие защиты должно быть и на визуальный и на звуковой сигнал. В данном случае оперативному персоналу необходимо принять решение о выводе трансформатора из эксплуатации в соответствии с ПТЭ. При отсутствии дежурного персонала диагностическая тепловая защита должна действовать на устройство автоматической разгрузки трансформатора, параллельно существующей защите от перегрузки, реагирующей на аварийное значение тока. Телеметрический сигнал высокого уровня опасности должен быть передан на диспетчерский пункт.

Очень высокий уровень опасности показывает, что вероятность возникновения аварии на трансформаторе высока. В данном случае защита должна действовать вначале на разгрузку, а затем на отключение трансформатора. При этом следует отметить, что сама по себе разгрузка трансформатора не устраняет выявленную неисправность, например, в системе охлаждения, а лишь отодвигает срок вывода трансформатора в ремонт.

Рассмотрим методику выявления уровня опасности аномального нагрева трансформатора. Пусть $\Delta\theta_{y.o.}$ - максимальное изменение характеристической разности, соответствующее переходу между соседними уровнями опасности режима аномального нагрева трансформатора. Очевидно, что достоверное значение величины $\Delta\theta_{y.o.}$ может быть получено при наличии многолетнего опыта эксплуатации диагностической тепловой защиты силового трансформатора. На сегодняшний день в мировой энергетике такой опыт отсутствует. Однако теоретически можно предложить значение $\Delta\theta_{y.o.}$, соответствующее потере трансформатором одной ступени охлаждения, то есть 5°C . Таким образом, при наличии развивающейся неисправности в трансформаторе, увеличение характеристической разности на каждые 5°C будет эквивалентно ухудшению условий охлаждения трансформатора, как в случае отключения одной ступени охлаждения.

Алгоритм выявления уровня опасности аномального нагрева трансформатора можно записать в виде:

$$L_i = (\Delta\epsilon_m \geq \Delta\theta_{\max} + i \cdot \Delta\theta_{y.o.}) \vee \vee (\Delta\theta_{\text{нтт}} \geq \Delta\theta_{\max} + i \cdot \Delta\theta_{y.o.}) \wedge (R_1 \vee R_2 \vee R_3 \vee R_4) \quad (8.3)$$

где $i = \{0;1;2;3\}$ - номер уровня опасности (0 – низкий; 1 – средний; 2 – высокий; 3 – очень высокий); L_i - набор булевых функций указывающих на наличие или отсутствие какого-либо из уровней опасности (наличие среднего уровня опасности и выше автоматически предполагает наличие более низких уровней, что учтено в алгоритме).

Характеристика действия диагностической тепловой защиты трансформатора показана на рис. 8.2., при этом характеристическая разность условно обозначена $\Delta\theta$.



Рис. 8.2. Характеристика действия диагностической тепловой защиты силового масляного трансформатора

Под **селективностью диагностической тепловой защиты**, действующей на сигнал, будем понимать свойство данной защиты однозначно указывать на тип и уровень опасности режима аномального нагрева трансформатора. Очевидно, что при такой формулировке абсолютная селективность защиты обеспечивается правильным выполнением алгоритмов (8.1), табл. 8.1, а также (8.3).

8.2. Системы диагностики линий электропередачи

Для диагностики ЛЭП используют следующие основные методы:

1. бесконтактное измерение температуры в заданной точке;
2. тепловизионный контроль;
3. измерение сопротивления изоляции кабельных линий;
4. определение мест повреждения кабельных линий.

Для бесконтактного измерения температуры используют специальные приборы – **пирометры** (рис. 8.3), оснащённые лазерным указателем. Расстояние до точки измерения может составлять 10 м. Принцип действия пирометров основан на преобразовании инфракрасного излучения с поверхности объекта в напряжения. Для фокусировки на заданную точку пирометры оснащены оптической системой.



Рис. 8.3. Пирометр

Для контроля температуры поверхности используют **тепловизоры** (рис. 8.4) – приборы, функционирующие по принципу цифрового фотоаппарата, но реагирующие на инфракрасное излучение.



Рис. 8.4. Тепловизор

Получаемое с тепловизора изображение называют **термограммой** (рис. 8.5). На термограмме холодные участки отображаются синим чёрным и цветом, а тёплые участки – красным и белым цветом.

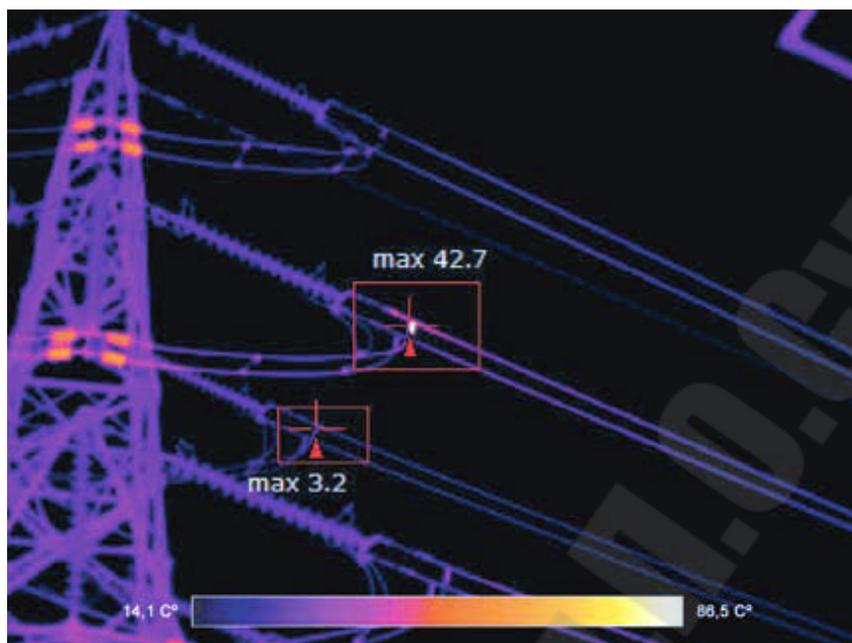


Рис. 8.5. Термограмма

Для измерения сопротивления изоляции кабельных линий используют мегаомметры (рис. 8.6).



Рис. 8.6. Мегаомметр

Для определения мест повреждения кабельных линий применяют **рефлектометры** (рис. 8.7) – приборы, позволяющие определять расстояние до места повреждения кабельной линии на основе разности во времени поданного в кабель сигнала и отражённого сигнала.



Рис. 8.7. Рефлектометр

9. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УЧЁТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Автоматические системы контроля и учёта электроэнергии (АСКУЭ) строят на основе микропроцессорных приборов, объединяемых в радиально-магистральные сети. Основными приборами в АСКУЭ являются микропроцессорные счётчики электроэнергии (рис. 9.1).

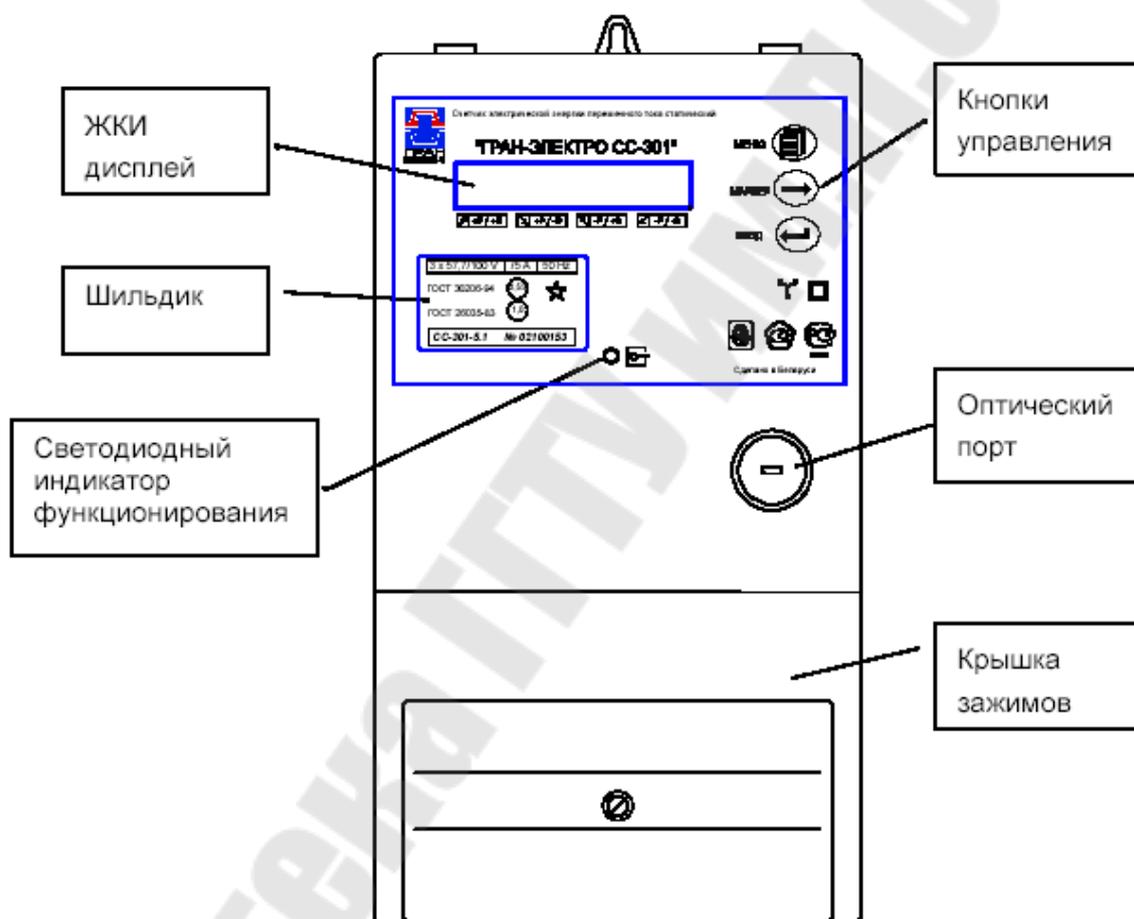


Рис. 9.1. Микропроцессорный счётчик электроэнергии

Конструктивно счётчики состоят из следующих узлов:

- корпуса, состоящего из цоколя с зажимной платой и кожуха;
- крышки зажимов;
- печатной платы измерительного контроллера с жидкокристаллическим (ЖКИ) дисплеем;
- измерительных трансформаторов тока.

Измерительные трансформаторы тока и печатная плата измерительного контроллера с ЖКИ дисплеем крепятся к цоколю корпуса.

На передней панели счетчика расположены ЖКИ дисплей, оптический порт, светодиодный индикатор функционирования, кнопки управления и шильдик с маркировкой счетчика.

Микропроцессорные счетчики имеют следующие функциональные возможности:

- измерение активной и реактивной энергии и мощности в режиме многотарифности;
- измерение параметров электросети с нормированными погрешностями;
- фиксация максимальной мощности нагрузки с заданным интервалом усреднения;
- фиксация даты и времени максимальной активной и реактивной мощности для каждой тарифной зоны;
- запись и хранение данных графика нагрузки и параметров сети в памяти счетчика;
- передача результатов измерений по цифровым и импульсным каналам связи;
- автоматический контроль нагрузки и сигнализация о выходе параметров сети за установленные пределы;
- учёт потерь в силовом трансформаторе и линии электропередачи.

Для подключения к АСКУЭ счетчики оснащаются интерфейсами ИРПС, RS-485 или Ethernet.

Пример структуры АСКУЭ приведен на рис. 9.2.

При организации сети АСКУЭ счетчики подключают к устройствам сбора и передачи данных (УСПД), то есть специальным контроллерам, выполняющим функции концентраторов, которые, в свою очередь, могут подключаться к контроллерам телемеханики КП, ЦСТ или ЦППС с соответствующей передачей данных на серверы АСКУЭ и в центры сбора информации.

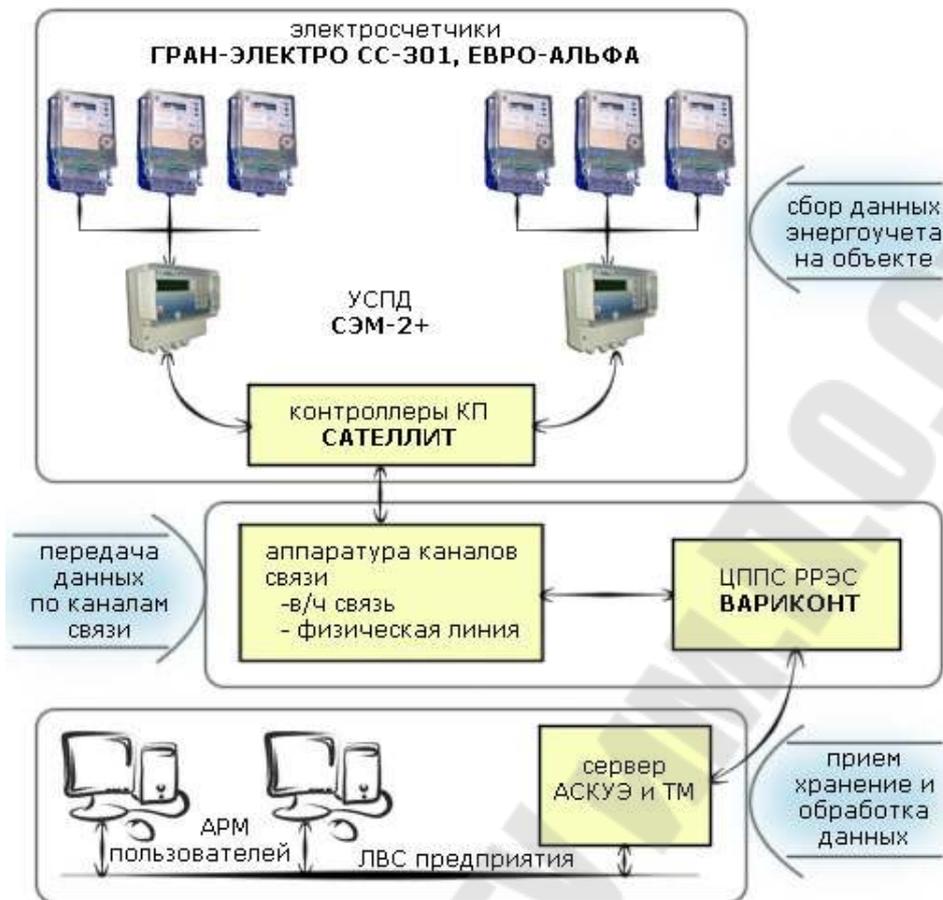


Рис. 9.2. АСКУЭ

10. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Диспетчер – это высший оперативный руководитель энергосистемы.

В обязанности диспетчера входит управление оперативными переключениями, регулирование напряжения и другие функции.

Оперативные переговоры – выдача распоряжений, разрешений, получение информации о выполнении распоряжений и разрешений, обмен информацией по текущей эксплуатации.

Оперативный журнал – документ, в котором записываются оперативные переговоры и все основные события по текущей эксплуатации с обязательным указанием даты и времени.

Оперативные переключения – действия с коммутационными аппаратами электрической сети. К **сложным** относятся переключения, сопровождающиеся большим числом операций с разъединителями, выключателями, операциями в цепях РЗА. К **простым** относятся переключения, связанные с отдельными присоединениями: трансформаторами, линиями, и так далее. Сложные переключения должны выполняться двумя лицами, одно из которых – контролирующее. К **плановым** относятся переключения, выполняемые по разрешённым диспетчером заявкам на ввод или вывод оборудования по режимным соображениям. К **внеплановым** относятся все текущие переключения, не предусмотренные заранее разрешённой диспетчерской заявкой. К **аварийным** относятся переключения, связанные с ликвидацией и локализацией аварии. Все плановые и внеплановые переключения в электроустановках напряжением выше 1000 В должны выполняться только по бланкам переключений. При ликвидации аварий не требуется заполнять бланки переключений. Осуществлённые операции с указанием времени их выполнения записываются в оперативный журнал после устранения аварии.

На рис. 10.1 показана форма типового бланка переключений.

В одном бланке переключений не допускается совмещать операции с коммутационными аппаратами с операциями по установке заземлений (эти операции входят в работу по подготовке рабочего места).

<p>Утверждаю Главный инженер предприятия электрических сетей _____ (подпись) «__» _____ 20__ г.</p>	
<p>Типовой бланк переключений № ____ / ____ Подстанция 110 кВ «Южная»</p>	
<p>Схема (описание схемы подстанции) Задание: «Отключить трансформатор Тб» Последовательность операций при переключении:</p>	
<p>1) операция 1; 2) операция 2; 3)</p>	
<p>Начальник службы подстанций предприятия электрических сетей _____ (подпись)</p>	
<p>Начальник службы РЗА _____ (подпись)</p>	
<p>Задание по данному типовому бланку переключений в указанной последовательности операций по состоянию схемы электрических соединений может быть выполнено.</p>	
Лицо, производящее операции	(подпись)
Лицо, контролирующее операции	(подпись)
Начало операций	
Конец операций	
дата	

Рис. 10.1. Типовой бланк переключений

Порядок производства операций по бланку переключений на электроустановках с постоянным дежурным персоналом следующий:

- 1) диспетчер отдаёт распоряжение, в котором указывает конечную цель переключений, проверяет наличие контролирующего лица, отдаёт распоряжение («Отключите...», «Включите...»), подтверждает, что отданное им распоряжение понято правильно, и отдаёт команду «Правильно, выполняйте»;

2) дежурный, производящий переключения, критически осмысливает принятое распоряжение, повторяет распоряжение, записывает распоряжение в оперативный журнал, проверяет возможность выполнения предстоящих операций по режиму работы оборудования и составляет бланк переключений;

3) оба лица, участвующих в переключениях, проверяют по оперативной схеме правильность и последовательность записанных в бланке операций, и, если у них не возникло сомнений по намеченному порядку операций, подписывают бланк и приступают к выполнению задания;

4) на месте переключений персонал обязан внимательно проверить по надписям наименование присоединения и название аппарата, на котором предстоит проведение операций, и убедиться в правильности выбранного присоединения;

5) контролирующее лицо зачитывает содержание операции, подлежащей выполнению по бланку;

6) лицо, выполняющее операцию, повторяет содержание операции и, получив разрешение контролирующего лица, выполняет её;

7) после выполнения операции контролирующее лицо делает в бланке соответствующую отметку, чтобы исключить возможность пропуска какой-либо операции.

После выполнения всех пунктов бланк перечёркивается. Дежурный докладывает о выполнении задания лицу, выдавшему распоряжение. Затем делается запись в оперативном журнале с указанием номера бланка переключений и изменений в цепях РЗА.

Схема подключения линии 110 кВ к шинам подстанции приведена на рис. 10.2. В этом случае основными коммутационными аппаратами являются: шинный разъединитель QS_1 , высоковольтный выключатель QF и линейный разъединитель QS_2 .

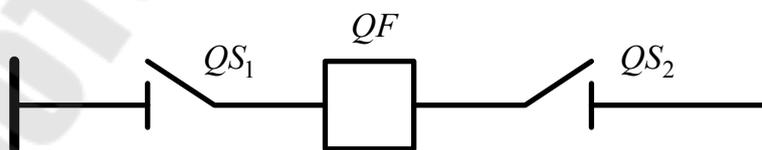


Рис. 10.2. Схема подключения линии 110 кВ к шинам подстанции

При включении линии необходимо соблюдать следующий порядок операций с коммутационными аппаратами:

1) осмотреть присоединение и проверить отключенное положение выключателя;

2) включить шинные разъединители и проверить их включенное положение;

3) включить линейные разъединители и проверить их включенное положение;

4) включить высоковольтный выключатель и проверить по приборам наличие нагрузки или напряжения на присоединении.

Отключение линии выполняют в следующем порядке:

1) отключить высоковольтный выключатель и проверить его отключенное положение;

2) отключить линейные разъединители и проверить их отключенное положение;

3) отключить шинные разъединители и проверить их отключенное положение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчаренко Н.И. Автоматика энергосистем: учебник для вузов / Н.И. Овчаренко; под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 476 с.
2. Овчаренко Н.И. Аппаратные и программные элементы автоматических устройств энергосистем / Н.И. Овчаренко. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 512 с.
3. Лысенко Е.В. Функциональные элементы релейных устройств на интегральных микросхемах. -М.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.
4. Линт Г.Э. Серийные реле защиты, выполненные на интегральных микросхемах. -М.: Энергоатомиздат, 1990. – 144 с.
5. Новиков Ю.В. Основы микропроцессорной техники: Курс лекций. – М.: Интернет-ун-т Информ. Технологий, 2004. – 438 с.
6. Микропроцессорные системы: Учеб пособие для вузов/ Е.К. Александров, Р.И. Грушвицкий: Под общ. ред. Д.В. Пузанкова. – СПб.: Политехника, 2002. – 935 с.
7. Митюшкин, К.Г. Телеконтроль и телеуправление в энергосистемах / К.Г. Митюшкин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
8. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / Под ред. Ю.М. Руденко, В.А. Семенова. - М.: МЭИ, 2000.
9. Алексеев О.П., Козис В.Л., Кривенков В.В. и др. Автоматизация электроэнергетических систем. - М.: Энергоатомиздат, 1994.
10. Тутевич В.Н. Телемеханика. - М.: Высшая школа, 1985.
11. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем: Учеб. Пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
12. Ишкин В.Х. Волоконно-оптические системы связи. Ч.1, 2. Библиотечка электротехника. Вып.5. - М.: Энергетик, 2000.
13. Шмурьев В.Я. Цифровые реле защиты. Библиотечка электротехника. Вып. 1(4). - М.: Энергетик, 1999.
14. Концепция развития, реконструкция и технического перевооружения электрических сетей Белорусской энергосистемы на 2001-2010 годы. -Минск: Белэнерго, 2000г.
15. Пуляев В.И., Усачев Ю.В. Цифровые регистраторы аварийных событий энергосистем. Библиотечка электротехника. Вып. 6(9). - М.: Энергетик, 1999.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 Общие принципы автоматизации электрических сетей	
2 Помехоустойчивость электронных устройств	7
2.1 Причины помех и способы борьбы с ними	7
2.2 Испытания на помехоустойчивость	10
3 Принципы построения микроэлектронных устройств для автоматизации электрических сетей	15
3.1 Общие принципы	15
3.2 Входные преобразователи аналоговых и дискретных сигналов	16
3.3 Унифицированный измерительный орган реле тока и напряжения	18
3.4 Измерительный орган реле направления мощности	20
4 Принципы построения микропроцессорных устройств для автоматизации электрических сетей	24
4.1 Общие принципы	24
4.2 Микроконтроллеры и их функциональные возможности	25
4.3 Общая характеристика интерфейсов связи	29
4.4 Интерфейс связи ИРПС	36
4.5 Интерфейс RS232	36
4.6 Интерфейс RS485	38
4.7 Интерфейс Ethernet	39
5. Передача информации по линиям электропередачи	43
5.1 Общая характеристика систем связи по линиям электропередачи	43
5.2 Построение систем связи по линиям электропередачи	45
5.3 Пример организации связи по линиям электропередачи	51
6 Микропроцессорные системы релейной автоматики в электрических сетях	53
6.1 Микропроцессорные системы автоматического повторного включения	53
6.2 Микропроцессорные системы автоматического ввода резерва	57
6.3 Микропроцессорные системы автоматической частотной разгрузки	60
6.4 Автоматика регулировки напряжения силового трансформатора	61
6.5 Автоматика ограничения снижения напряжения	63
7 Системы телемеханики в электрических сетях	64

7.1 Общие принципы построения систем телемеханики	64
7.2 Телесигнализация и телеуправление	67
7.3 Телеизмерение	69
7.4 Телерегулирование	70
8 Системы диагностики в электрических сетях	71
8.1 Системы диагностики силовых трансформаторов	71
8.2 Системы диагностики линий электропередачи	77
9 Построение автоматических систем контроля и учёта электроэнергии в электрических сетях	81
10 Построение автоматизированных систем диспетчерского управления в электрических сетях	84
Литература	88

Зализный Дмитрий Иванович

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

**Курс лекций
по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-43 01 02
«Электроэнергетические системы и сети»
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 04.07.11.

Рег. № 25Е.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>