Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания к лабораторным работам

Благовещенск

Издательство АмГУ

2017

ББК 31.27-05я73
А 22

Печатается по решению редакционно-издательского совета Амурского государственного университета

Разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера АО «Гидроэлектромонтаж»

Рецензенты:

Т.Ю. Ильченко, инженер ПТО АО «Гидроэлектромонтаж» (АО «ГЭМ», г. Благовещенск).

М.В. Шевченко, зав. кафедрой электроэнергетики и электротехники Дальневосточного государственного аграрного университета (ДальГАУ, г. Благовещенск), канд. с.-х. наук, доцент.

А 22 **Автоматика электроэнергетических систем:** методические указания к лабораторным работам / Сост.: А.Н. Козлов. – 2-е изд., испр. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2017. – 76 с.

Методическая разработка предназначена для подготовки бакалавров по направлению «Электроэнергетика и электротехника», направленность (профиль) образовательной программы «Электроэнергетика». Соответствует рабочей программе дисциплины и федеральному государственному стандарту ВО РФ.

Рассмотрены назначение и принцип действия наиболее распространенных устройств автоматики. Предусматривается выполнение лабораторных работ в аудитории под руководством преподавателя, а также самостоятельная работа при подготовке к выполнению эксперимента и при оформлении отчета.

В авторской редакции.

ББК 31.27-05я73
©Амурский государственный университет, 2017
©Козлов А.Н. (составитель), 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

Правильный выбор устройств и рабочих параметров срабатывания аппаратуры релейной защиты и автоматики (РЗА) имеет большое значение для устойчивого функционирования электроэнергетических систем и систем электроснабжения. В настоящее время в энергосистемах Российской Федерации все большее распространение получают микропроцессорные устройства РЗА, но еще достаточно долго такие устройства будут работать совместно с аппаратурой более старших поколений – электромеханическими и статическими реле. Поэтому в методических указаниях уделено внимание как микропроцессорным терминалам, так и аппаратуре РЗА на базе электромеханических реле.

Цель дисциплины «Автоматика электроэнергетических систем» – вооружить будущих специалистов знаниями и умениями, позволяющими при проектировании объектов электроэнергетических систем, а также в процессе их эксплуатации обоснованно применять алгоритмы автоматического управления режимами работы электроэнергетических систем и противоаварийного управления ими.

Основные задачи дисциплины – освоение студентами принципов действия автоматических устройств управления электроэнергетическими объектами; изучение и техническое выполнение автоматических управляющих устройств; ознакомление с перспективными разработками технических средств автоматического управления.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способности принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования (ПК-3)

- готовности определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности (ПК-5)

- способности рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности (ПК-6);

- готовности обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике (ПК-7).

В результате освоения дисциплины студенты должны:

- ***знать*** теоретические основы автоматического управления режимом работы синхронных генераторов (блоков генератор-трансформатор), электростанции в целом (ПК-3, ПК-6), основного электрооборудования подстанций и линий электропередачи (ПК-3, ПК-5), а также техническое исполнение автоматических управляющих устройств и систем (ПК-5, ПК-7);

- ***уметь*** разбираться в функциональных и принципиальных схемах устройств и систем автоматического управления (ПК-3, ПК-5);

- ***иметь навыки*** проектирования автоматики управления режимами работы и противоаварийной автоматики (ПК-3, ПК-6), а также навыки математического моделирования функционирования автоматических устройств на ПЭВМ (ПК-5, ПК-7).

Знание принципов выполнения, проверки и настройки автоматических устройств обязательно для инженера, обслуживающего аппаратуру релейной защиты и автоматики. Этому и должны способствовать лабораторные работы по РЗиА.

Настоящее учебное пособие – очередная часть комплекта учебно-методических материалов, разрабатываемого кафедрой энергетики Амурского государственного университета в рамках реализации гранта Министерства образования и науки Российской Федерации «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера АО «Гидроэлектромонтаж».

ВВЕДЕНИЕ

Под автоматизацией энергосистем понимается внедрение устройств и систем, осуществляющих автоматическое управление схемой и режимами (процессами производства, передачи и распределения электроэнергии) энергосистем в нормальных и аварийных условиях. Автоматизация энергосистем обеспечивает нормальное функционирование элементов энергосистемы, надежную и экономичную работу энергосистемы в целом, требуемое качество электроэнергии.

Основная особенность энергетики, отличающая ее от других отраслей промышленности, состоит в том, что в каждый момент времени выработка мощности должна строго соответствовать ее потреблению. Поэтому при увеличении или уменьшении потребления мощности должна немедленно увеличиваться или уменьшаться ее выработка на электростанциях. Нарушение нормального режима работы одного из элементов может отразиться на работе многих элементов энергосистемы и привести к нарушению всего производственного процесса. Другая, не менее важная особенность состоит в том, что электрические процессы при нарушении нормального режима протекают так быстро, что оперативный персонал электростанций и подстанций не успевает вмешаться в протекание процесса и предотвратить его развитие. Эти особенности энергетики определили необходимость широкой автоматизации энергосистем.

Все устройства автоматики можно разделить на две большие группы: устройства технологической и системной автоматики. Технологическая автоматика является местной автоматикой, выполняющей функции управления локальными процессами на энергообъекте и поддержания на заданном уровне или регулирования по определенному закону местных параметров, не оказывая существенного влияния на режим энергосистемы в целом.

С помощью устройств автоматики управления в нормальных режимах обеспечиваются установленное качество электроэнергии по частоте и

напряжению, повышение экономичности работы и запаса устойчивости параллельной работы.

К автоматике управления в аварийных режимах относятся наряду с устройствами релейной защиты (рассматриваемыми в другом курсе) также сетевая автоматика, осуществляющая включение резерва, повторное включение элементов оборудования (линий трансформаторов, шин), форсировку возбуждения синхронных машин, и противоаварийная автоматика. С помощью противоаварийной автоматики осуществляются разгрузка линий электропередачи для предотвращения нарушения устойчивости параллельной работы, прекращение асинхронного режима делением энергосистем, отключение для предотвращения развития аварии части потребителей по факту недопустимо низкой частоты или напряжения, ликвидация кратковременных повышений частоты и напряжения, представляющих опасность для оборудования.

Все устройства автоматики независимо от выполняемых функций можно разделить также на две группы: устройства автоматического управления и устройства автоматического регулирования.

Настоящие лабораторные работы посвящены главным образом устройствам системной автоматики, имеющих массовое применение, и некоторых устройств технологической автоматики. Основное внимание в методических указаниях обращено на рассмотрение физической сущности явлений, происходящих в энергосистемах, а также принципов действия и схем современных устройств автоматики.

ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Перечень тем	Часы	Осваиваемые компетенции
Автоматическое повторное включение линии электропередачи с односторонним питанием	4	ПК- 3, ПК- 5, ПК- 6, ПК- 7
Автоматическое повторное включение линии электропередачи с двусторонним питанием	4	ПК- 3, ПК- 5, ПК- 6, ПК- 7
Автоматическое резервное включение секционного выключателя понизительной подстанции	4	ПК- 3, ПК- 5, ПК- 6, ПК- 7
Автоматическое ограничение снижения частоты в электрической системе отключениями нагрузки	4	ПК- 3, ПК- 5, ПК- 6, ПК- 7

КРИТЕРИИ ДОСТИЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО БЛОКУ ПРАКТИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

Балл	Критерии оценки (содержательная характеристика)
«1»	Работа выполнена полностью. Студент практически не владеет теоретическим материалом, допуская грубые ошибки, испытывает затруднения в формулировке собственных суждений, неспособен ответить на дополнительные вопросы.
«2»	Работа выполнена полностью. Студент не владеет теоретическим материалом, допуская ошибки по сущности рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.
«3»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, отсутствуют ошибки при описании теории, испытывает затруднения в формулировке собственных обоснованных и аргументированных суждений, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
«4»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.
«5»	Работа выполнена полностью. Студент владеет теоретическим материалом, отсутствуют ошибки при описании теории, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, аргументированные суждения, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы.

Работа, оцененная менее, чем 3 баллами, НЕ МОЖЕТ БЫТЬ «ЗАЧТЕНА» и пересдается.

Лабораторная работа №1

Автоматическое повторное включение линии электропередачи с односторонним питанием

Цель работы - ознакомление с принципом работы автоматического повторного включения линии и ускорения действия релейной защиты до АПВ. Изучение конструкции реле РПВ-58, РПВ-258. Расчет уставок и уяснение работы устройства АПВ и ускорения действия релейной защиты до и после АПВ.

Общие сведения

Автоматическое повторное включение (АПВ) — одно из средств релейной защиты, направленное на увеличение надёжности электроснабжения. Заключается в автоматическом включении отключенного с помощью аварийной автоматики или по ошибке участка электросети.

Все повреждения в электрической сети можно условно разделить на два типа: устойчивые и неустойчивые. К устойчивым повреждениям относятся такие, для устранения которых требуется вмешательство оперативного персонала или аварийной бригады. Такие повреждения не самоустраняются со временем, эксплуатация поврежденного участка сети невозможна. К таким повреждениям относятся обрывы проводов, повреждения участков линий, опор ЛЭП, повреждения электрических аппаратов.

Преобладающая часть аварийных отключений воздушных линий электропередачи является следствием неустойчивых повреждений. Неустойчивыми называют такие повреждения, которые самоустраняются после снятия напряжения, т.е. после отключения линии. Обычно такие нарушения возникают при перекрытиях изоляции из-за атмосферных перенапряжений, при «набросах» на провода, схлестывании и по другим причинам. В этом случае после обратного включения под напряжение линии, на которой произошло неустойчивое повреждение, восстанавливается нормальный режим работы энергосистемы и потребителей. Такое включение называется повторным

включением, а специальные автоматические устройства, выполняющие данную операцию, - устройствами автоматического повторного включения (АПВ). АПВ, после которого восстанавливается нормальный режим работы, называется успешным. Практика показывает, что доля неустойчивых повреждений составляет 50-90 % от числа всех повреждений.

Наибольшее распространение получило однократное повторное включение. Двукратное АПВ применяется значительно реже, обычно на тупиковых линиях, когда его применение диктуется требованиями повышенной надежности электроснабжения потребителей.

Требования к УАПВ и расчет их параметров.

Несмотря на указанные различия, все устройства АПВ должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Они должны находиться в состоянии постоянной готовности к действию и срабатывать при всех случаях аварийного отключения выключателя, кроме случаев отключения выключателя релейной защитой после включения его дежурным персоналом; не должны приходить в действие при оперативных отключениях выключателя дежурным персоналом, что обеспечивается пуском устройств АПВ от несоответствия положений выключателя и его ключа управления, которое возникает всегда при любом автоматическом отключении выключателя. В эксплуатации используется также пуск устройства АПВ при срабатывании релейной защиты. Однако такой пуск не обеспечивает действия АПВ при аварийных отключениях, не сопровождающихся срабатыванием релейной защиты, поэтому его рекомендуется применять лишь в некоторых частных случаях. Схемы АПВ должны допускать возможность автоматического вывода их из действия при срабатывании тех или иных защит.

2. Устройства АПВ должны иметь минимально возможное время срабатывания $t_{АПВ1}$ для того, чтобы сократить продолжительность перерыва питания потребителей. Практически можно выполнить АПВ действующим без замедления. Однако эта возможность ограничивается рядом условий. Для

успешного действия АПВ необходимо, чтобы время срабатывания $t_{АПВ1}$ было больше: времени $t_{г,п}$, необходимого для восстановления готовности привода к работе на включение (для применяемых типов приводов с учетом условий их работы $t_{г.п} \approx 0,1..0,3$ с); времени $t_{д.с}$,необходимого для деионнзации среды в точке повреждения (для установок напряжением до 220 кВ $t_{д.с} \approx 0,2$ с); времени готовности выключателя $t_{г.в}$, необходимого для восстановления отключающей способности выключателя после отключения им тока к. з. Для однократного АПВ время $t_{г.в}$ всегда меньше суммы времени $t_{г.в}$ и времени включения выключателя $t_{в.в}$. Поэтому определяющим обычно является условие $t_{АПВ1} > t_{г.п}$. При этом с учетом времени запаса $t_{зап} = 0,4...0,5$ с время срабатывания УАПВ для линий с односторонним питанием

$$t_{АПВ1} > t_{г.п.} + t_{зап} = 0,5...0,8 \text{ с.} \qquad (1.1)$$

В отдельных случаях для воздушных линий, когда велика вероятность их повреждения при падении деревьев и по другим аналогичным причинам, для эффективности АПВ его выдержку времени целесообразно принимать несколько повышенной — около нескольких секунд. В этом случае также уменьшается вероятность неселективного перегорания предохранителей при неуспешном АПВ, установленных на элементах систем электроснабжения, расположенных ближе к источнику питания, чем рассматриваемый выключатель с устройством АПВ. Схема УАПВ во всех случаях должна быть выполнена так, чтобы продолжительность воздействия на включение выключателя была достаточной. Реле времени, используемое в схемах УАПВ для создания выдержки времени $t_{АПВ1}$ имеет погрешности, зависящие от температуры среды.

3. Автоматически с заданной выдержкой времени устройства АПВ должны возвращаться в состояние готовности к новому действию после включения в работу выключателя. При выборе выдержки времени $t_{АПВ2}$ на возврат устройства АПВ в состояние готовности к действию должны выполняться следующие требования:

- устройство не должно производить многократные включения выключателя на неустранившееся короткое замыкание, что обеспечивается при условии, если релейная защита с максимальной выдержкой времени $t_{С.З.МАХ}$ успеет отключить выключатель, включенный на короткое замыкание, раньше, чем устройство АПВ вернется в состояние готовности к новому действию, т. е. должно быть

$$t_{АПВ2} \geq t_{АПВ1} + t_{в.в.} + t_{С.З.МАХ} + t_{о.в.} + t_{зап}, \qquad (1.2)$$

где $t_{зап}$ - время, принимаемое равным ступени селективности защиты линии;

- устройство должно быть готовым к действию не раньше, чем это допускается по условиям работы выключателя после успешного включения его в работу устройством АПВ.

Опыт показывает, что для однократного АПВ оба указанных в пункте 3 требования выполняются, если принять $t_{АПВ2}$ = 15... 25 с. Для УАПВ двукратного действия время возврата в состояние готовности после второго цикла принимается равным $t_{АПВ2}$ = 60...100 с.

В ПУЭ указано, что устройствами АПВ должны в обязательном порядке снабжаться все воздушные и кабельно-воздушные линии с рабочим напряжением 1кВ и выше. Кроме того, устройствами АПВ снабжаются трансформаторы, сборные шины подстанций и электродвигатели.

Виды АПВ

В зависимости от количества фаз, на которые действуют устройства АПВ, их разделяют на:

– однофазное АПВ – включает одну отключенную фазу (при отключении из-за однофазного короткого замыкания);

– трёхфазное АПВ – включает все три фазы участка цепи;

– комбинированные – включает одну или три фазы в зависимости от характера повреждения участка сети.

Трёхфазные АПВ могут в зависимости от условий работы сети разделяться на:

– простые (ТАПВ);

– несинхронные (НАПВ);

– быстродействующие (БАПВ);

– с проверкой (контролем) наличия напряжения (АПВКНН)

– с проверкой (контролем) отсутствия напряжения (АПВКОН);

– с ожиданием синхронизма (АПВОС);

– с улавливанием синхронизма (АПВУС);

– в сочетании с самосинхронизацией генераторов и синхронных компенсаторов (АПВС).

По типу защищаемого оборудования АПВ разделяются соответственно на АПВ линий, АПВ шин, АПВ электродвигателей и АПВ трансформаторов.

Принцип действия и схема устройства АПВ линий с односторонним питанием

АПВ может быть однократным и двукратным. Схема однократного АПВ на базе реле РПВ-58 приведена на рис. 1.1.

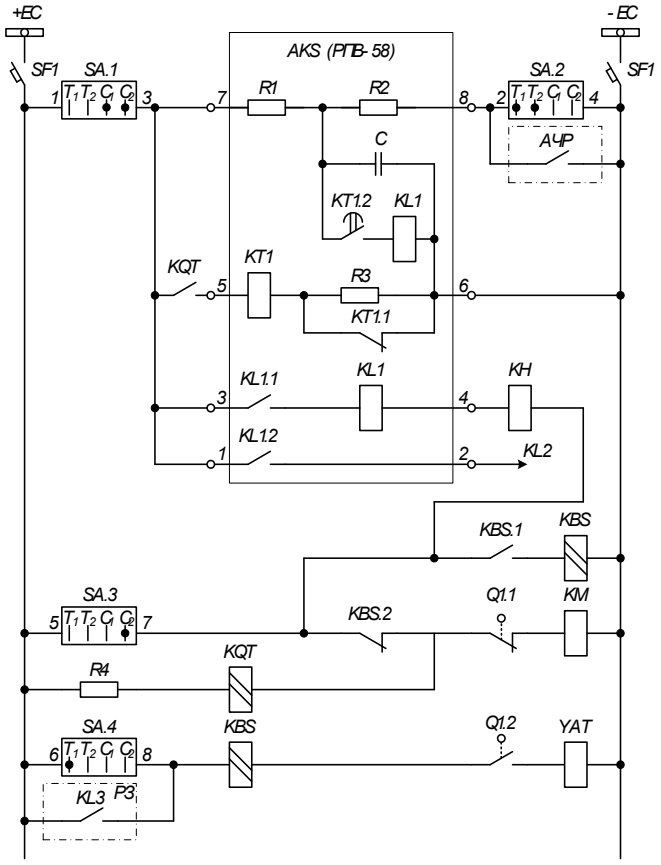


Рис.1.1. Схема однократного АПВ на базе реле РПВ-58.

Дистанционное управление выключателем производятся ключом управления *SA*, у которого предусмотрена фиксация положения последней операции, и таким образом после включения ключ остеит в положении «Включено» (*C2*), а после отключения – в положении «Отключено» (*T2*). Когда выключатель включен и ключ управления находится в положении «Включено», к конденсатору *C* подводится «плюс» оперативного тока через контакты ключа и зарядный резистор *R1*, а «минус» – через клемму *6*. При этом конденсатор заряжен и схема АПВ готова к действию.

При включенном выключателе реле положения «Отключено» *KQT*, осуществляющее контроль исправности цени включения, током не обтекается и контакт его в цепи пуска АПВ разомкнут. Пуск АПВ происходит при отключении выключателя под действием релейной защиты в результате несоответствия между положением ключа, которое не изменилось, и положением выключателя, который теперь отключен. Это несоответствие характеризуется тем, что через контакты ключа *1-3* на схему АПВ по-прежнему подается «плюс» оперативного тока, а ранее разомкнутый вспомогательный контакт (блок-контакт) выключателя *Q1.1* переключается и замыкает цепь обмотки реле *KQT,* которое, срабатывая, подает «плюс» на обмотку реле времени *KT1*.

При срабатывании реле времени размыкается его мгновенный размыкающий контакт *KT1.1*, вводя в цепь обмотки реле дополнительное сопротивление (резистор *R3).* Это приводит к уменьшению тока в обмотке реле, благодаря чему обеспечивается его термическая стойкость при длительном прохождении тока.

По истечении установленной выдержки времени реле *KT1* замыкает контакт *KT1.2* и подключает параллельную обмотку реле *KL1* к конденсатору *C*. Реле *KL1* при этом срабатывает от тока разряда конденсатора и, самоудерживаясь через свою вторую обмотку, включенную последовательно с катушкой *KM,* подает импульс на катушку промежуточного контактора *KM*; последний, срабатывая, контактами *KM.1* и *KM.2* замыкает цепь питания

соленоида включения *YAC* выключателя *Q1* – рис. 1.2. Благодаря последовательной обмотке реле *KL1* обеспечивается необходимая длительность импульса для надежного включения выключателя, поскольку параллельная обмотка этого реле обтекается током кратковременно при разряде конденсатора. Выключатель включается, размыкается его вспомогательный контакт *Q1.1* и возвращаются в исходное положение реле *KQT*, *KL1* и *KT1*.

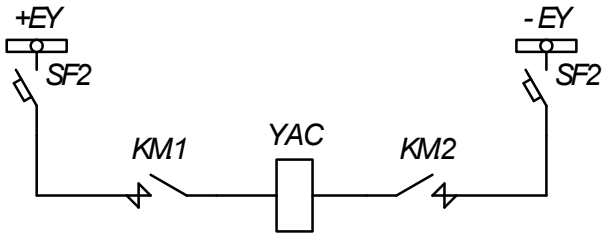


Рис. 1.2. Цепи соленоида включения выключателя.

Если повреждение на линии было неустойчивым, она останется в работе. После размыкания контакта реле времени *KT1.2* конденсатор *C* начнет заряжаться через зарядный резистор *R1*. Сопротивление этого резистора выбирается таким, чтобы время заряда составляло *20 – 25 с*. Таким образом, спустя указанное время схема АПВ будет автоматически подготовлена к новому действию.

Если повреждение было устойчивым, выключатель, включившись, вновь отключится защитой и опять сработают реле *KQT* и *KT1*. Реле *KL1*, однако, при этом второй раз работать не будет, так как конденсатор *C* был разряжен при первом действий АПВ и зарядиться еще не успел. Таким образом, рассмотренная схема обеспечивает однократное действие при устойчивом КЗ на линии.

При оперативном отключении выключателя ключом управления *SA* несоответствия между положением ключа управления и выключателя не возникает и АПВ не действует, так как одновременно с подачей импульса на отключение выключателя (контактами ключа *6-8)* размыкаются контакты *1-3*, чем снимается «плюс» оперативного тока со схемы АПВ. Поэтому срабатывает только реле *KQT*, а реле *KT1* и *KL1* не сработают. Одновременно со снятием

оперативного тока контактами *1-3* ключа *КУ* замыкаются контакты *2-4*, конденсатор *С* разряжается через резистор *R2*. При оперативном включении выключателя ключом управления готовность АПВ к действию наступает после заряда конденсатора *С* через *20 – 25 с*. Поэтому при оперативном включении выключателя отключать АПВ не требуется.

При отключении линии устройством автоматики, когда действия АПВ не требуется (например, АЧР), через резистор *R2* производится разряд конденсатора *С*.

Чтобы предотвратить многократное включение выключателя на устойчивое КЗ, что могло бы иметь место при «залипании» контактов реле *KL1* в замкнутом состоянии, в схеме управления (рис. 1.1) устанавливается специальное промежуточное реле *KBS* (типа *РП-232*) с двумя обмотками – рабочей последовательной и удерживающей параллельной. Реле *KBS* срабатывает при прохождении тока по катушке отключения выключателя и удерживается в сработавшем положении до снятия команды на включение. При этом цепь *КМ* Разомкнута размыкающим контактом *KBS.2*, чем предотвращается включение выключателя.

Совместное использование устройств АПВ и релейной защиты позволяет сократить время отключения КЗ и тем самым повысить надежность работы энергосистемы и потребителей. Достигается это путем автоматического ускорения действия релейной защиты, т.е. путем уменьшения или же полного исключения выдержки времени защиты.

В эксплуатации применяются два способа ускорения действия релейной защиты – до АПВ и после АПВ.

Принцип действия ускорения до АПВ следующий. Повреждения, возникающие на любом участке линии, отключаются без выдержки времени, а неселективное действие защиты «исправляется» с помощью устройства АПВ.

Ускорение после АПВ заключается в том, что вначале (перед АПВ) действует селективная защита и производит отключение поврежденного участка сети, а к моменту повторного включения выключателя ее выдержка

времени автоматически устраняется на некоторое время. В случае неуспешного АПВ защита действует без выдержки времени, сохраняя свою селективность. Если АПВ успешное, то через определенное время ускорение автоматически выводится и новое повреждение будет отключаться селективно.

В данном эксперименте используется линия электропередачи (см. рис. 1.3), подключенная к источнику G через трансформатор T1 и выключатель Q1. От шин линии получает питание активная нагрузка P. В начале линии установлен трансформатор тока TA1. Короткое замыкание K устраивается в конце линии. Выключатель Q2, работающий в автоматическом режиме, используется для нормирования времени короткого замыкания.

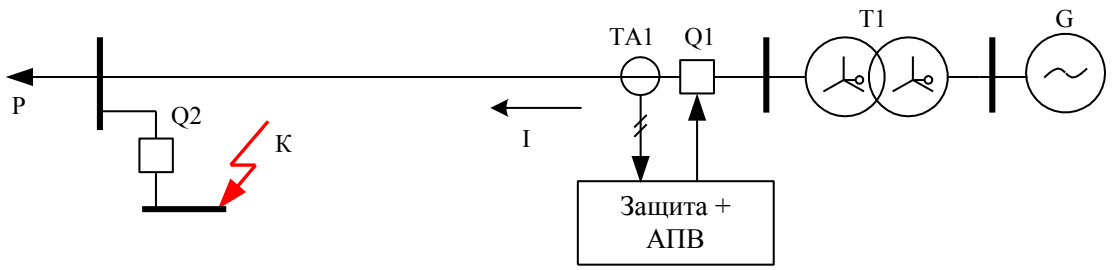


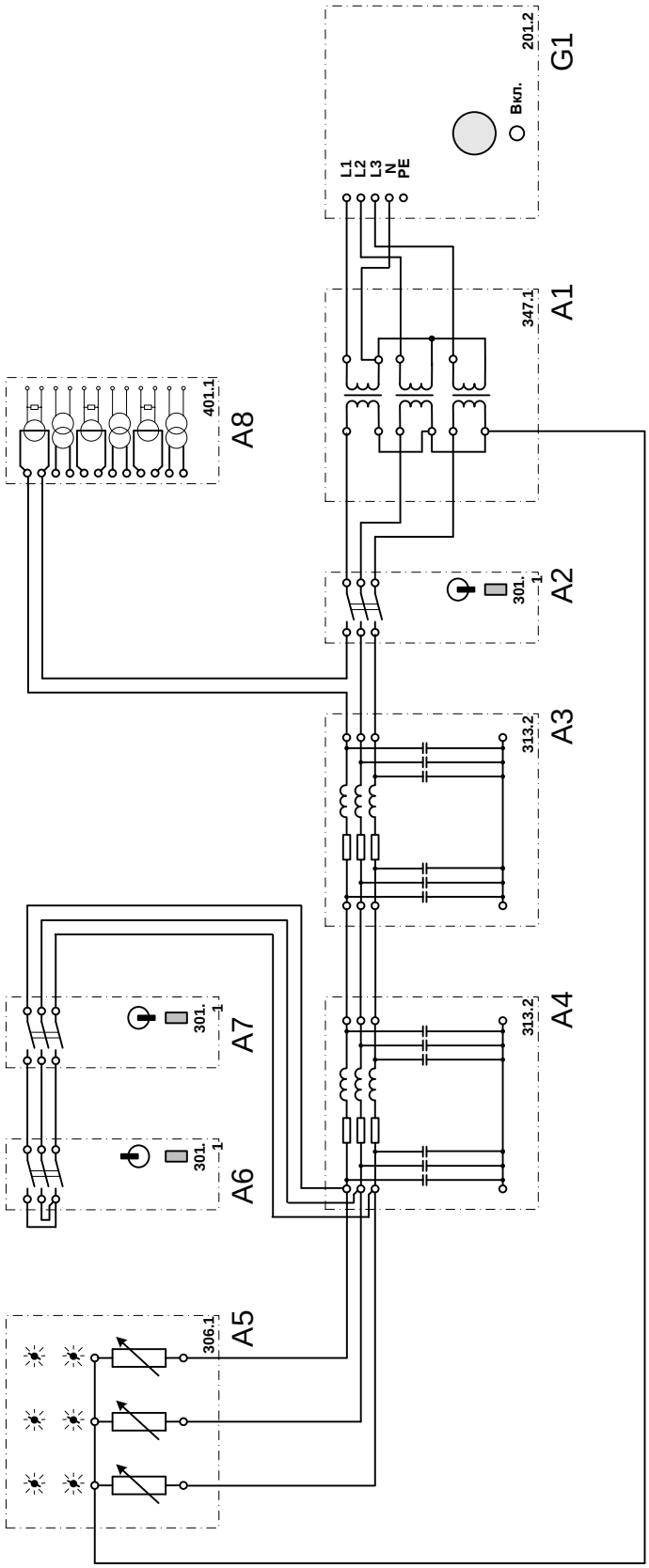
Рис. 1.3.

Токовая защита и устройство АПВ моделируются на компьютере с помощью специальной программы. Защита работает с независимой выдержкой времени и может иметь ускорение до и (или) после АПВ. АПВ может быть однократным или двукратным. В уставках программы задаются ток и время срабатывания защиты, наличие или отсутствие ускорений, кратность и времена действия АПВ и общее время существования короткого замыкания.

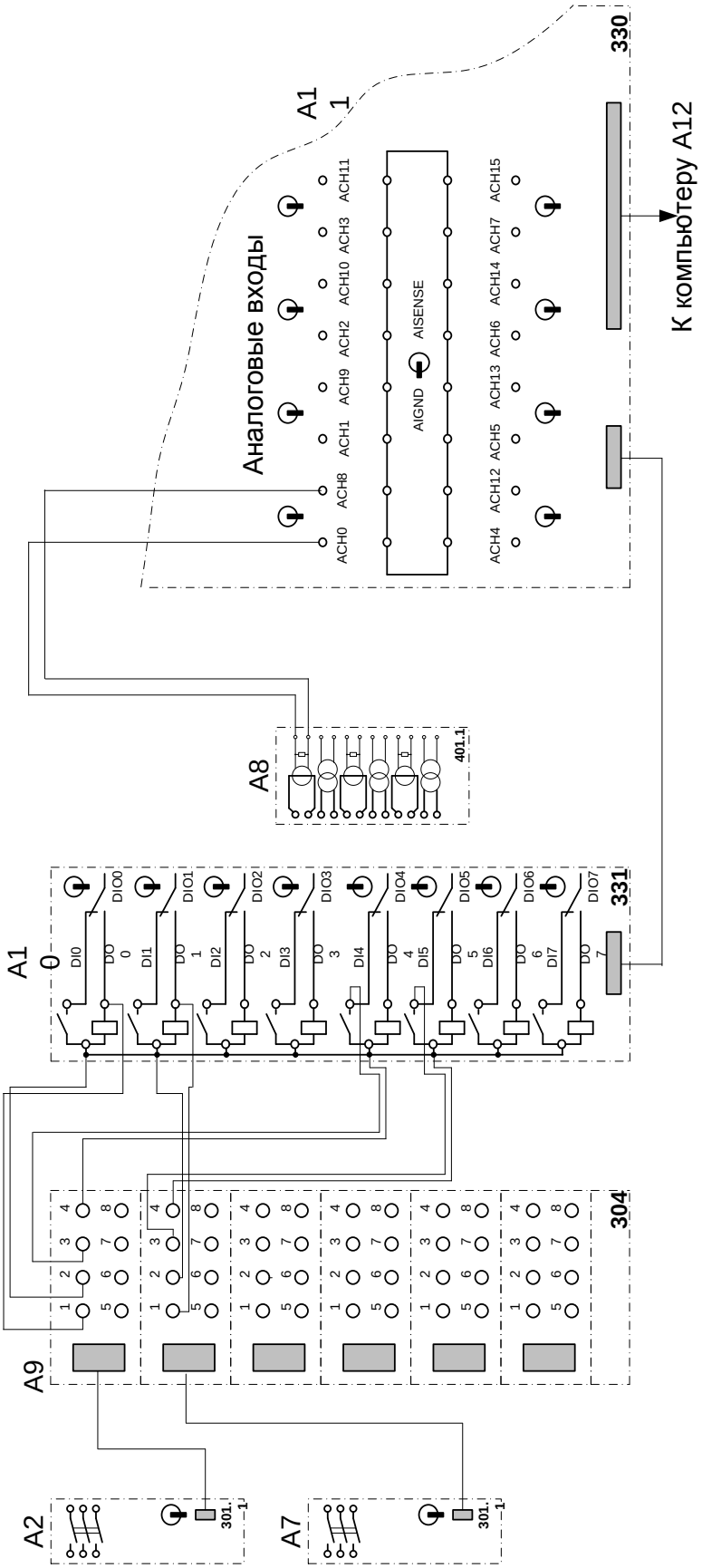
Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.1	3 x 80 В·А; 230 (звезда) /242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 В
A2, A6, A7	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A3, A4	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A5	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A8	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (трансформатор напряж.) 0,3 А / 3 В (трансформатор тока)
A9	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/выходов
A10	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A11	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A12	Персональный компьютер	550	IBM совместимый, Windows, плата сбора информации PCI 6024E
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А

Электрическая схема соединений



Электрическая схема соединений (продолжение).



Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда «ТК» источника G1.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Тумблеры делителей напряжения коннектора A9 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора A9 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока A10 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.
- Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей A2 и A7 установите в положение «АВТ.», выключателя A6 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока A1 выставьте равными, например, 127/230 В. Параметры линий электропередачи A3 и A4 переключателями установите, например, следующими: R = 0 Ом, L/R_L=0,9/24 Гн/Ом, C1=C2=0 мкФ. Выберите мощность активной нагрузки A5, например 80% от 50 Вт во всех трех фазах.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A12 и запустите прикладную программу «АПВ линии электропередачи с односторонним питанием».
- Задайте уставки защиты и АПВ, нажав на соответствующую виртуальную кнопку ⚒. Например, используйте уставки по умолчанию.
- Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей A2, A6, A7, блока A10 ввода-вывода цифровых сигналов.

- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» и смоделируйте короткое замыкание, включив выключатель А6. После того, как автоматика завершит свою работу, остановите запись. Нажмите на виртуальную кнопку «Отобразить записанный процесс» и проанализируйте осциллограмму токов линии, а также информацию о последовательности произошедших событий.
- При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:
  - Масштабирование осциллограммы производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
  - Двигать график осциллограммы относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
  - Для удобства определения значений величин по графикам в нижней части экрана отображаются текущие координаты указателя мыши.
  - Если защита «запустилась», то на экране красным шрифтом отображается время, оставшееся до ее срабатывания. Время, оставшееся до срабатывания АПВ1 (АПВ2), отображается синим (зеленым) шрифтом.
  - Уставку тока следует задавать действующими значениями.
  - Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Его длина составляет 15 секунд.
- По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А2, А6, А7 и А10.

Контрольные вопросы

1. Что такое устойчивые повреждения (примеры)?

2. Как осуществляется пуск устройств АПВ?

3. Что такое время готовности привода, время деионизации среды и время готовности выключателя?

4. Требования, которые необходимо учитывать при определении выдержки времени на возврат устройства АПВ в состояние готовности?

5. Где устанавливаются УАПВ?

6. Виды АПВ?

7. Анализ схемы однократного АПВ на базе реле РПВ-58.

8. Два способа ускорения действия релейной защиты.

Лабораторная работа №2

Автоматическое повторное включение линии электропередачи с двусторонним питанием

Цель работы - ознакомление с особенностями работы автоматического повторного включения на линии с двусторонним питанием. Расчет уставок и уяснение работы устройства АПВ с контролем наличия и отсутствия напряжения, а также - устройств контроля синхронизма.

Общие сведения

Устройства трехфазного автоматического повторного включения (ТАПВ), в дальнейшем именуемые устройствами АПВ, имеют назначение автоматически включать отключившийся элемент энергосистемы для восстановления работы потребителей или схемы их электропитания.

1. *Успешность автоматического повторного включения* характеризуется отношением числа случаев обратных включений, после которых вновь не произошло немедленного отключения объекта от устройства релейной защиты, к общему числу случаев повторного включения объекта устройством АПВ. Успешность АПВ определяется тем, что причина, вызвавшая отключение, за время безтоковой паузы часто самоустраняется (например, прекращается схлестывание проводов и восстанавливается изоляция, погасает дуга, вызванная грозовым разрядом, устраняется перегрузка, приведшая к срабатыванию устройства релейной защиты, и т. п.).

2. *Правильная и неправильная работа устройств АПВ* определяется правильной (безотказной) работой, как релейной части аппаратуры, так и коммутационного аппарата (выключателя), которым производится обратное включение электрической цепи. Неправильная работа обусловливается отказом устройства АПВ как такового (неправильная работа аппаратуры устройства АПВ) или выключателя (отказ в повторном включении выключателя из-за его неисправности).

3. *Эффективность применения устройства АПВ* определяется размером возможного народнохозяйственного ущерба, предотвращённого работой устройства АПВ за год эксплуатации. Затраты на осуществление и текущее обслуживание устройств АПВ ничтожны по сравнению с размером предотвращенного народнохозяйственного ущерба и при оценке экономического эффекта могут не учитываться.

Наибольшую эффективность имеют устройства АПВ, устанавливаемые на выключателях воздушных линий электропередачи, по которым осуществляется одностороннее питание нагрузки и для которых не предусмотрена автоматическая подача напряжения от резервного источника электроснабжения. Определяется это тем, что потребители после кратковременного перерыва питания чаще всего могут продолжать свою работу, в особенности, если предусмотрены мероприятия по обеспечению самозапуска нагрузки.

Весьма эффективна работа устройств АПВ для воздушных линий электропередачи во время грозовой деятельности. Подавляющее число перекрытий в это время устраняется после отключения линии электропередачи, и после действия устройства АПВ линия остается в работе.

Опыт эксплуатации показал высокую эффективность АПВ шин, поскольку КЗ на шинах также бывают неустойчивыми.

В силу указанных причин установка устройств АПВ для повторной подачи напряжения на линии, шины и трансформаторы является обязательной.

При установке устройств АПВ на линиях с двусторонним питанием необходимо учитывать, что для восстановления работоспособности поврежденной линии требуется её отключение и включение с двух сторон. В связи с этим устройства АПВ следует устанавливать на выключателях обоих концов защищаемого элемента. Необходимо также учитывать возможность несинхронного повторного включения и в ряде случаев принимать специальные меры, чтобы не допускать такое включение. Это достигается с помощью специальных органов, состоящих из реле, контролирующего наличие

напряжения на линии, и реле контроля синхронизма. Устройства АПВ, дополненные этими органами, называются УАПВ с *контролем синхронизма.*

Иногда можно отказаться от мер, предотвращающих несинхронное включение, и применять АПВ без контроля синхронизма. Это допустимо в следующих случаях:

а) при наличии большого числа параллельных связей, когда отключение одной из линий не сопровождается нарушением синхронизма (в этом случае применяют обычные устройства АПВ);

б) если имеется быстродействующая защита и быстродействующие выключатели, позволяющие обеспечить полное время цикла АПВ (отключение - включение) не более $t_{АПВ1}$ = 0,25...0,5 с. при повреждении в любой точке защищаемой линии; за указанное время векторы ЭДС разделившихся источников не успевают разойтись на значительный угол, поэтому повторное включение сопровождается допустимыми толчками тока и завершается успешным вхождением в синхронизм; устройства АПВ с таким временем действия называются *быстродействующими;*

в) если включение на несинхронную работу при любых углах между ЭДС разделившихся источников не представляет опасности для оборудования и обеспечивается быстрое восстановление синхронизма; такое устройство АПВ называется *несинхронным.* В системах с глухозаземленными нейтралями наряду с трехфазным применяется также однофазное автоматическое повторное включение (ОАПВ). Устройства ОАПВ имеют определенные преимущества перед трехфазными УАПВ. Однако они значительно сложнее, и требуют пофазного управления выключателями. Имеются также схемы совместного согласованного действия устройств ТАПВ и ОАПВ.

Ускорение защиты после АПВ. Повторное включение на устойчивое повреждение линии, не имеющей быстродействующей защиты, вредно отражается на работе потребителей, усиливает повреждения в месте КЗ и усугубляет опасность нарушения устойчивости параллельной работы электростанций. Поэтому перед повторным включением выключателя линии

производится ускорение действия ее защиты, т.е. автоматическое снижение или полное исключение выдержки времени.

Ускорение защиты после АПВ предусматривается директивными материалами не только для линий, не имеющих быстродействующей защиты, но и для линий, имеющих сложные быстродействующие защиты, как мера повышения надежности защиты линии в целом. На кабельных линиях ускорение защиты после АПВ необходимо применять для предотвращения повреждения кабелей из-за перегрева при длительном прохождении тока. На рис. 2.1(б) показана схема выполнения ускорения максимальной токовой защиты после АПВ.

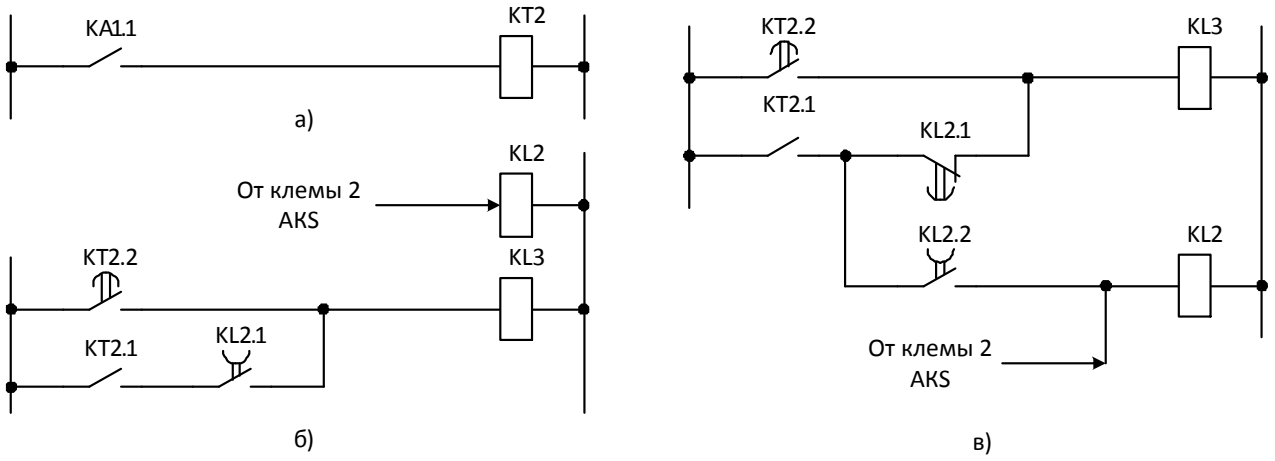


Рис. 2.1. Ускорение действия релейной защиты при АПВ.

Ускоренное действие защиты осуществляется через мгновенный контакт *KT2.1* реле времени *KT2*. Цепь ускоренного действия нормально разомкнута контактом промежуточного реле ускорения *KL2*, которое срабатывает перед повторным включением выключателя и, имея замедление на возврат, держит свой контакт замкнутым в течение *0,7 – 1 с*. Поэтому, если повторное включение происходит на устойчивое КЗ, защита второй раз подействует без выдержки времени по цепи ускорения через контакт реле *KL2*, в качестве которого обычно используется реле типа *РП-752*.

Ускорение защиты до АПВ позволяет ускорить отключение КЗ и обеспечить селективную ликвидацию повреждений. В сети максимальная

токовая защита *МТЗ1*, установленная на линии *W1*, по условию селективности должна иметь выдержку времени больше, чем максимальная токовая зашита *МТЗ2* линии *W2*. Одним из способов, обеспечивающих быстрое отключение повреждений на линии *W1* без применения сложных защит, является ускорение максимальной токовой защиты этой линии до АПВ. С этой целью защита *МТЗ1* выполняется так, что при возникновении КЗ она первый раз действует без выдержки времени независимо от того, на какой из линий произошло КЗ, а после АПВ действует с нормальной выдержкой времени.

В случае КЗ на линии *W1* срабатывает защита *МТЗ1* (замыкается контакт *КА1.1* и запускает реле времени *КТ2*). Первым замыкается контакт *КТ2.1* в цепи ускорения и отключает эту линию без выдержки времени – рисунок 4в. После АПВ, если повреждение устранилось, линия остается в работе; если же повреждение оказалось устойчивым, линия вновь отключится, но уже с выдержкой времени: при срабатывании выходного реле АПВ (*KL1*) произойдет пуск реле ускорения *KL2,* у которого переключаются контакты *KL2.1* и *KL2.2.*

Контактом *KL2.1* разрывается цепь ускорения, а контактом *KL2.2* реле *KL2* будет удерживаться в сработавшем положении, пока не отключится КЗ и не разомкнутся контакты реле защиты.

На микропроцессорнай базе наибольшее распространение получили реле РПВ-01 и РПВ-02. Они выполнены на интегральных микросхемах и на унифицированной конструкции. Для гальванического отделения цепей реле от источников входных сигналов и выходных цепей включения выключателя используются электромагнитные реле с герметизированными контактами (герконы) и выходное реле с двумя обычными контактами.

В функциональной схеме автоматического устройства РПВ-01 (рис. 2.2) различаются элементы формирования (контактами) дискретных потенциальных сигналов, а именно: пуска *ЭП* контактом *KL1*, запрета действия *ЗД,* разрешения подготовки к новому действию – возврату в исходное состояние *РВ,* защитного сигнала, предотвращающего ложные действия *РПВ* при перерывах его питания от источника постоянного напряжения $E_П$ (элемент *ЗП),* элемент управления *ЭУ*

выходным реле *KL2* и элемент информации о действии *РПВ* (сигнализации) *ИЭ*.

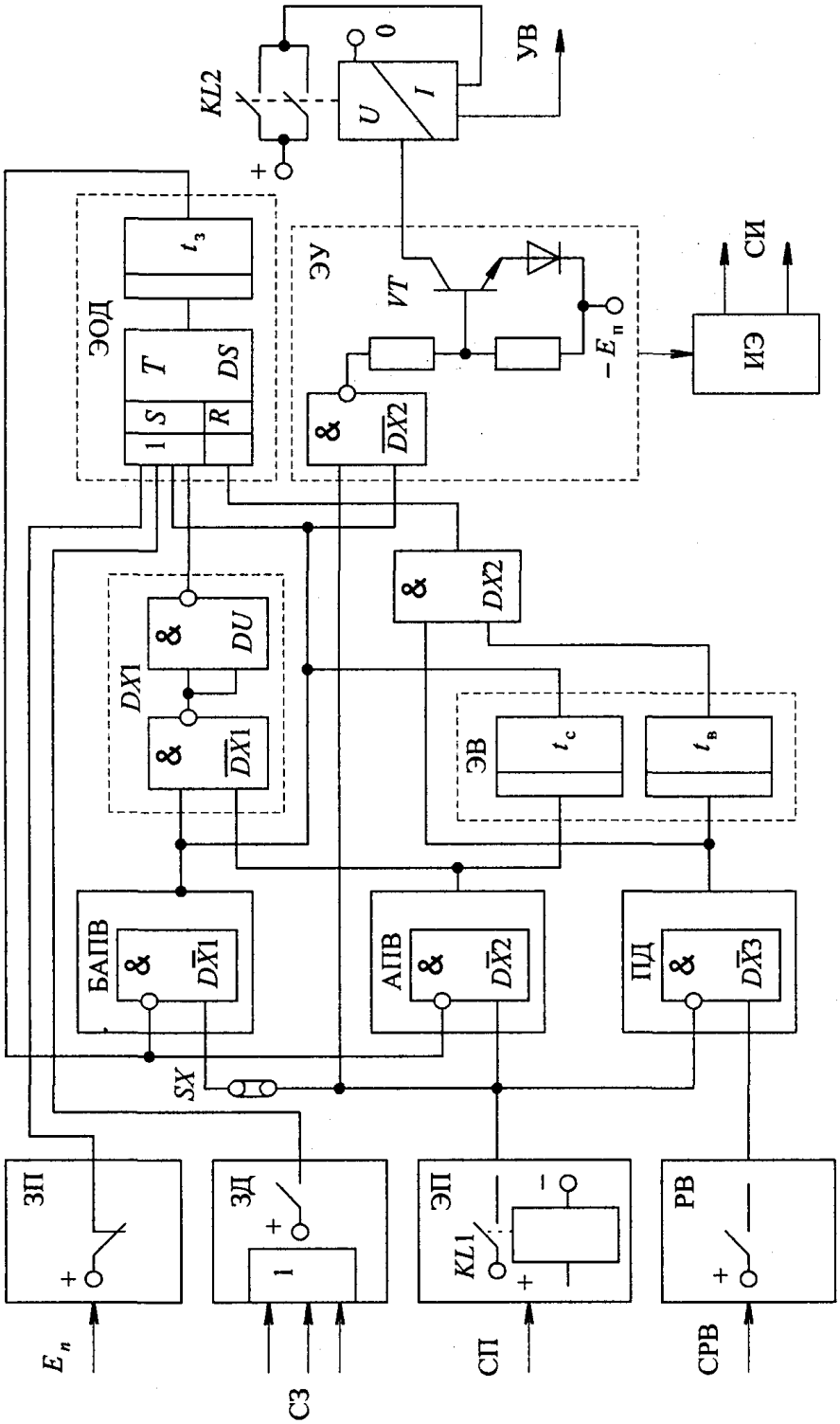


Рис. 2.2. Функциональная схема реле РПВ-01.

Схема РПВ-01 содержит элементы формирования сигналов включения выключателей без выдержки времени *БАПВ* и *АПВ* с выдержкой времени,

элемент однократности действия (запрета) *ЭОД,* элемент подготовки к новому действию *ПД* и элемент выдержек времени *ЭВ* срабатывания t_c и подготовки к новому действию (возврата) t_B.

Функции названных элементов, кроме контактных, выполняются взаимодействующими дискретными интегральными микросхемами *DX* (И) серий К175, К176, реализующими логические операции совпадения сигналов (логических единиц) и их отрицания $\overline{DX}$ (И-НЕ). На функциональной схеме показан, например, синтезированный из двух микросхем $\overline{DX}1$ и *DU* (НЕ) элемент логического перемножения (конъюнкции) дискретных потенциальных сигналов *DX1*.

Элемент выдержки времени выполнен на пассивных *RC*-интеграторах и активном элементе сравнения постоянного напряжения, получаемого от источника питания, с напряжением на заряжающемся конденсаторе релейного действия на основе интегрального операционного усилителя типа К553УД1 в дифференциальном включении, охваченного положительной обратной связью. Заряд конденсаторов от транзисторных источников токов обеспечивает линейное нарастание напряжений на них и, следовательно, более высокую, чем при экспоненциальном нарастании, четкость срабатывания бесконтактного реле времени. Источники токов включаются и отключаются дискретно изменяющимися напряжениями на выходах логических интегральных микросхем. Элемент запрета *ЭОД,* обеспечивающий однократность действия *РПВ*, содержит интегральные триггеры *DS* для запоминания сигнала.

В элемент управления *ЭУ* выходным электромагнитным реле *KL2* входит выходной транзистор *VT*, переключаемый в открытое состояние дискретно изменяющимся током, возбуждаемым напряжением на выходе логической интегральной микросхемы $\overline{DX2}$. Реле *KL2* имеет две обмотки, вторая из них (токовая) – удерживающая – включается последовательно в цепь управляющего воздействия *УВ* на возбуждение контактора электромагнита включения выключателя линии электропередачи, трансформатора, шин электростанции.

Информационный элемент *ИЭ* выполнен на интегральных транзисторных переключателях и светодиодах.

На вход *РПВ* поступают дискретные потенциальные сигналы от цепей управления выключателем: сигнал пуска *СП* возникает при несоответствии положений ключа управления (включено) и выключателя (отключен); сигнал на разрешение подготовки к включению *СРВ* – от ключа управления включением выключателя; сигналы запрета *СЗ* действия *РПВ* – от ключа управления отключением выключателя, от устройств релейной защиты, срабатывающих только при внутренних повреждениях трансформатора, от дифференциальной защиты шин электростанции (кроме *РПВ* выключателя, предназначенного для их опробования). На вход элемента *ЗП* защиты от неправильного действия при перерывах питания схемы поступает напряжение $E_П$ от источника оперативного тока. При его наличии *РПВ* готово к действию, т.е. находится в состоянии ожидания (геркон *ЗП* разомкнут).

При поступлении сигнала пуска срабатывает реле *KL1* элемента *ЭП* и возбуждает элемент *БАПВ,* выходной дискретный сигнал которого проходит через логическую микросхему $\overline{DX2}$ элемента управления *ЭУ,* благодаря поступлению на второй ее вход сигнала от *ЭП.* Появляющееся напряжение относительно отрицательного потенциала эмиттера *VT* на выходе $\overline{DX2}$ (нулевой потенциал) возбуждает ток через эмиттерный переход транзистора, переключающий его в открытое состояние; выходное реле *KL2* срабатывает и возбуждает соответствующую цепь *УВ* управления воздушным выключателем линии электропередачи, осуществляющим *БАПВ*.

Элемент *БАПВ* одновременно переключает триггер *DS* сигналом, поступающим на его вход записи *S,* напряжение на выходе которого, появляющееся с небольшой задержкой $t_З$, убирает, воздействуя на инверсный вход $D\overline{X}1$ (ЗАПРЕТ), выходной сигнал *БАПВ,* обеспечивая однократность его действия.

Если выключатель масляный, то его *АПВ* производится с выдержкой времени.

При этом цепь *БАПВ* выводится из действия, как условно показано на схеме накладкой *SX*. По сигналу *ЭП* срабатывает элемент *АПВ* и запускает реле выдержки времени срабатывания t_c. Сигнал пуска поступает также на один из двух входов микросхем *DX1* и $\overline{DX}2$. После срабатывания релейного элемента времени t_c его сигнал поступает на второй вход микросхемы *DX1* и разрешает прохождение пускового сигнала на вход *S* записи триггера *DS* элемента однократности действия *ЭОД* и второй вход микросхемы $\overline{DX}2$, которая переключается до нулевого потенциала 0 — положительного относительно отрицательного потенциала эмиттера транзистора *VT*. Напряжением, возбуждающим ток эмиттерного перехода, транзистор *VT* открывается, реле *KL2* срабатывает. Его контакт, соединенный последовательно со второй (удерживающей) обмоткой, замыкает цепь возбуждения контактора цепи электромагнита включения масляного выключателя.

Выходной сигнал элемента *DXI,* как указывалось, поступает на вход записи *S* триггера *DS,* выходное напряжение которого с небольшой задержкой t_B производит (через $D\overline{X}2$) запрет действия *АПВ*, обеспечивая однократное повторное включение выключателя.

Как видно из схемы, пусковой сигнал *ЭП* через элемент подготовки к новому действию *ПД* запрещает запуск (микросхема $D\overline{X}3$) элемента *ЭВ* выдержки времени $t_в$ возврата схемы в исходное состояние. После исчезновения *СП* и истечения времени t_B (не менее 10 с) выходным сигналом *ЭВ,* проходящим через *DX2,* благодаря наличию на втором его входе сигнала от *ПД,* и поступающим на вход считывания *R* триггера *DS* снимается запрет действия *АПВ*. Схема в целом приходит в исходное состояние.

Обычно во избежание двукратного включения на устойчивое КЗ от двух устройств АПВ, расположенным по концам линии, производится сначала ее опробование путем включения с одной стороны (АПВ с контролем отсутствия напряжения). Если напряжение на линии восстановилось, т.е. повреждение устранилось, действует второй комплект АПВ (АПВ с контролем наличия напряжения).

В тех случаях, когда синхронизм нарушается, на линиях применяются в зависимости от конкретных условий различные типы устройств АПВ: несинхронное (НАПВ), быстродействующее (БАПВ), с ожиданием синхронизма (АПВОС), с улавливанием синхронизма (АПВУС), с самосинхронизацией синхронных генераторов, компенсаторов и двигателей (АПВС).

В данном эксперименте используется линия электропередачи с двусторонним питанием (см. рис. 2.3). От середины линии получает питание активная нагрузка Р, на шинах которой устраивается короткое замыкание К. Выключатель Q3, работающий в автоматическом режиме, используется для ограничения времени этого короткого замыкания.

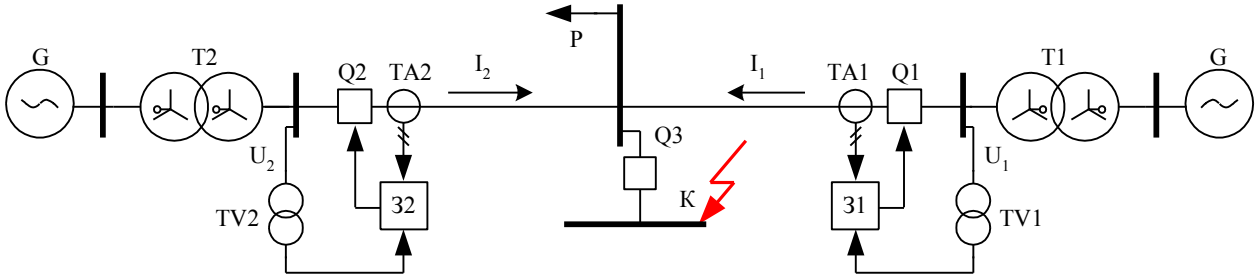


Рис. 2.3.

Токовые защита и устройства АПВ моделируются на компьютере с помощью специальной программы. Предполагается, что нарушения синхронной работы источников питания не происходит.

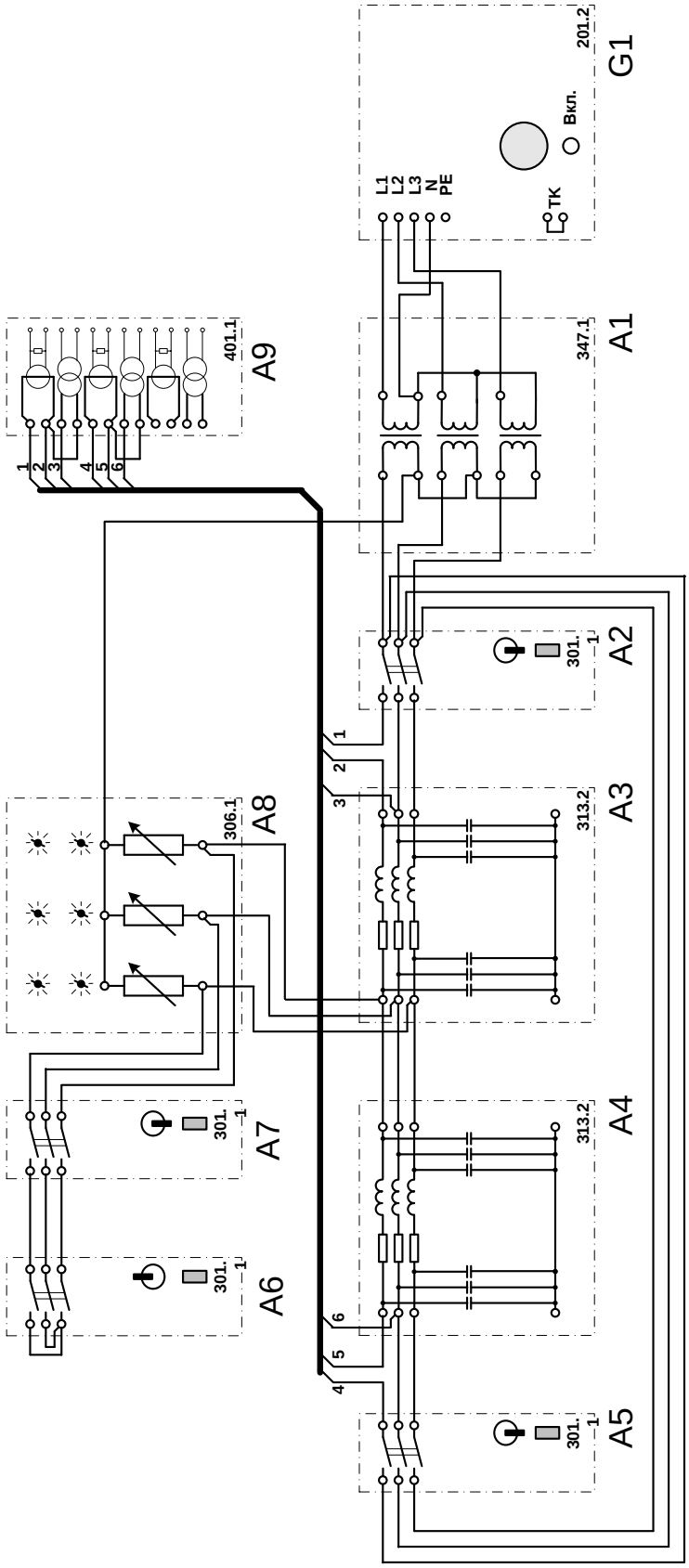
Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	**Трехфазная трансформаторная группа**	**34 7.1**	3 x 80 В·А; 230 (звезда) / 242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 В

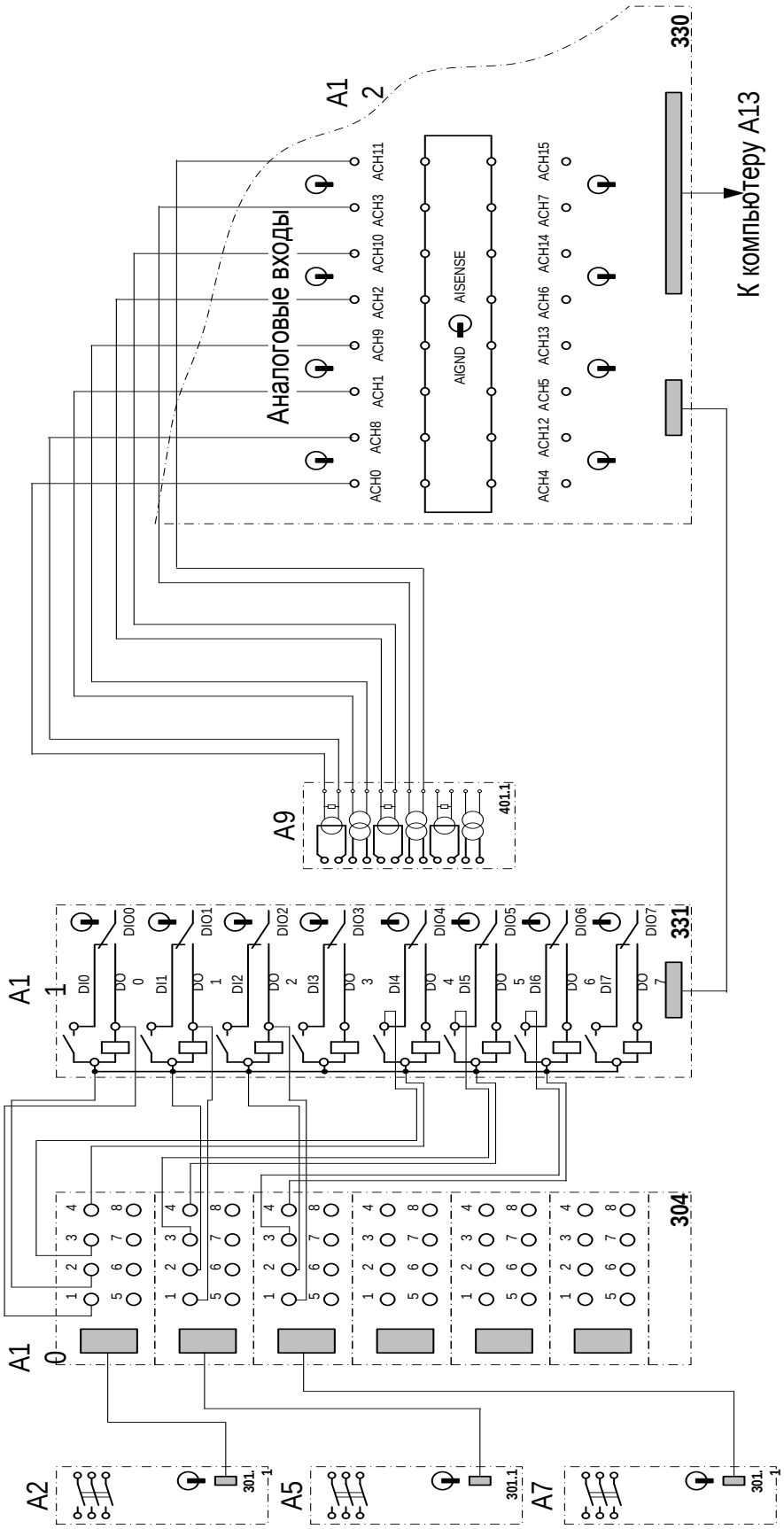
Продолжение перечня аппаратуры

A2, A5, A6, A7	**Трехполюсный выключатель**	**30 1.1**	**400 В ~; 10 А**
A3, A4	**Модель линии электропередачи**	**31 3.2**	**400 В ~; 3 × 0,5 А**
A8	**Активная нагрузка**	**30 6.1**	220/380 В; 50Гц; **3×0…50 Вт;**
A9	**Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения**	**40 1.1**	**600 В / 3 В (трансформатор напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)**
A10	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A11	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	**8 входов типа «сухой контакт»;** 8 релейных выходов
A12	**Коннектор**	**33 0**	**8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов**
A13	**Персональный компьютер**	**55 0**	**IBM совместимый, Windows, плата сбора информации PCI 6024E**
G1	**Трехфазный Источник питания**	**20 1.2**	**400 В ~; 16 А**

Электрическая схема соединений



Электрическая схема соединений (продолжение).



Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда «ТК» источника G1.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Тумблеры делителей напряжения коннектора A12 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора A12 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока A11 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.
- Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей A2, A5 и A7 установите в положение «АВТ.», выключателя A6 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блока A1 выставьте равными, например, 127/230 В. Параметры линий электропередачи A3 и A4 переключателями установите, например, следующими: R = 200 Ом, L/R_L=1,2/32 Гн/Ом, C1=C2=0 мкФ. Выберите мощность активной нагрузки A8, например 80% от 50 Вт во всех трех фазах.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A13 и запустите прикладную программу «АПВ линии электропередачи с двусторонним питанием».
- Задайте уставки защиты и АПВ, нажав на соответствующую виртуальную кнопку ⚒. Например, используйте уставки по умолчанию.
- Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей A2, A5, A6, A7, блока A11 ввода-вывода цифровых сигналов.

- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» и смоделируйте короткое замыкание, включив выключатель А6. После того, как автоматика завершит свою работу, остановите запись. Нажмите на виртуальную кнопку «Отобразить записанный процесс» и проанализируйте осциллограммы токов и напряжений, а также информацию о последовательности произошедших событий.
- При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:
  - Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
  - Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
  - Для удобства определения значений величин по графикам в нижней части экрана отображаются текущие координаты указателя мыши.
  - Если защита «запустилась», то на экране красным шрифтом отображается время, оставшееся до ее срабатывания. Время, оставшееся до срабатывания АПВ, отображается синим шрифтом.
  - Уставку тока следует задавать действующими значениями.
  - Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер. Его длина составляет 15 секунд.
- По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А2 , А5, А6, А7 и А11.

Контрольные вопросы

1. Что такое успешность автоматического повторного включения?

2. Где обязательно устанавливать АПВ для повторной подачи напряжения?

3. То такое несинхронное повторное включение?

4. Когда можно отказаться от мер, предотвращающих несинхронное включение?

5. Когда применяется однофазное автоматическое повторное включение (ОАПВ)?

6. Ускорение защиты после АПВ.

7. Ускорение защиты до АПВ.

8. Принцип работы РПВ-01?

9. Что такое триггер?

10. Осуществление БАПВ на РПВ-01?

Лабораторная работа № 3.
Автоматическое резервное включение секционного выключателя понизительной подстанции

Цель работы – ознакомление с основными принципами резервирования, реализация их в различных схемах, расчет уставок и выяснение действия автоматики при различных видах ненормальных режимов в сети.

Общие сведения

Для надежного электроснабжения потребителей в энергосистемах и электроустановках создаются специальные схемы электрических соединений, обеспечивающие повышенную надежность.

Высокую степень надежности электроснабжения обеспечивают схемы питания подстанций одновременно от двух и более источников питания, поскольку при таких схемах аварийное отключение одного из источников не нарушает питания потребителей.

Несмотря на эти очевидные преимущества многостороннего питания потребителей, большое количество подстанций воздушных и кабельных сетей, имеющих два и более источников питания, работают по схеме одностороннего питания. Одностороннее питание имеют также секции собственных нужд электростанций.

При развитии сетей одностороннее питание часто является единственно возможным решением, так как ранее установленное оборудование и релейная защита не позволяют осуществить параллельную работу источников питания.

Недостатком одностороннего питания является то, что аварийное отключение рабочего источника приводит к прекращению питания потребителей, т.е. к аварии.

Этот недостаток может быть в значительной степени устранен быстрым автоматическим включением резервного источника или включением выключателя, на котором производится деление сети. Для выполнения этой

операции широко используются специальные автоматические устройства, получившие наименование автоматов включения резерва (АВР).

Автоматический ввод резерва – один из методов релейной защиты, направленный на повышение надежности работы сети электроснабжения. Заключается в автоматическом подключении к системе дополнительных источников питания в случае потери системой электроснабжения из-за аварии.

Согласно ПУЭ все потребители электрической энергии делятся на три категории: I категория – к потребителям этой группы относятся те, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный материальный ущерб, опасность для безопасности государства, нарушение сложных технологических процессов и пр. II категория – к этой группе относят электроприёмники, перерыв в питании которых может привести к массовому недоотпуску продукции, простою рабочих, механизмов, промышленного транспорта. III категория – все остальные потребители электроэнергии.

Таким образом, кроме неудобств в повседневной жизни человека, длительный перерыв в электропитании может привести к угрозе жизни и безопасности людей, материальному ущербу и другим, не менее серьезным последствиям. Бесперебойное питание можно реализовать, осуществив электропитание каждого потребителя от двух источников одновременно (для потребителей I категории так и делают), однако подобная схема имеет ряд недостатков:

1) токи короткого замыкания при такой схеме гораздо выше, чем при раздельном питании потребителей;

2) в питающих трансформаторах выше потери электроэнергии;

3) релейная защита сложнее, чем при раздельном питании;

4) необходимость учета перетоков мощности вызывает трудности, связанные с выработкой определенного режима работы системы.

В некоторых случаях не получается реализовать схему из-за того, что нет возможности осуществить параллельную работу источников питания из-за ранее установленной релейной защиты и оборудования.

В связи с этим возникает необходимость в раздельном электроснабжении и быстром восстановлении электропитания потребителей. Решение этой задачи и выполняет АВР. АВР может подключить отдельный источник электроэнергии (генератор, аккумуляторная батарею) или включить выключатель, разделяющий сеть, при этом перерыв питания может составлять всего 0,3 – 0,8 секунд (это время срабатывания выключателя).

При проектировании схемы АВР, допускающей включение секционного выключателя, важно учитывать пропускную способность питающего трансформатора и мощность источника энергии, питающих параллельную систему. В противном случае может получиться так, что переключение на питание от параллельной системы выведет из строя и её, так как источник питания не сможет справиться с суммарной нагрузкой обеих систем. В случае если невозможно подобрать такой источник питания, обычно предусматривают такую логику защиты, которая отключит наименее важных потребителей тока обеих систем.

АВР разделяют на:

– АВР одностороннего действия. В таких схемах присутствует одна рабочая секция питающей сети, и одна резервная. В случае потери питания рабочей секции АВР подключит резервную секцию.

– АВР двухстороннего действия. В этой схеме любая из двух линий может быть как рабочей, так и резервной.

Все устройства АВР должны удовлетворять следующим ***основным требованиям.***

1. Схема АВР должна приходить в действие при исчезновении напряжения на шинах потребителя по любой причине, в том числе при аварийном, ошибочном или самопроизвольном отключении выключателей рабочего источника питания, а также при исчезновении напряжения на шинах, от

которых осуществляется питание рабочего источника. Включение резервного источника часто допускается также при КЗ на шинах потребителя.

2. Для того чтобы уменьшить длительность перерыва питания потребителей, включение резервного источника питания должно производиться сразу же после отключения рабочего источника.

3. Действие АВР должно быть однократным, чтобы не допускать нескольких включений резервного источника на неустранившееся КЗ.

4. Схема АВР не должна приходить в действие до отключения выключателя рабочего источника, чтобы избежать включения резервного источника на КЗ в неотключившемся рабочем источнике. Выполнение этого требования исключает также в отдельных случаях несинхронное включение двух источников питания.

5. Для того чтобы схема АВР действовала при исчезновении напряжения на шинах, питающих рабочий источник, когда его выключатель остается включенным, схема АВР должна дополняться специальным пусковым органом минимального напряжения,

6. Для ускорения отключения резервного источника при его включении на неустановившееся КЗ должно предусматриваться ускорение защиты резервного источника после АВР. Это особенно важно в тех случаях, когда потребители, потерявшие питание, подключаются к другому источнику, несущему нагрузку. Ускоренная защита обычно действует по цепи ускорения без выдержки времени. В установках же собственных нужд, а также на подстанциях, питающих большое число электродвигателей, ускорение защиты осуществляется до 0,5 с. Такое замедление ускоренной защиты необходимо, чтобы предотвратить ее неправильное срабатывание в случае кратковременного замыкания контактов токовых реле в момент включения выключателя под действием толчка тока, обусловленного сдвигом по фазе между напряжением энергосистемы и затухающей ЭДС тормозящихся электродвигателей, который может достигать 180°.

Принцип действия

В качестве измерительного органа для АВР в высоковольтных сетях служат реле минимального напряжения, подключённые к защищаемым участкам через трансформаторы напряжения. В случае снижения напряжения на защищаемом участке электрической сети реле даёт сигнал в схему АВР. Однако, условие отсутствия напряжения не является достаточным для того, чтобы устройство АВР начало свою работу. Как правило, должен быть удовлетворён еще ряд условий:

На защищаемом участке нет неустранённого короткого замыкания. Так как понижение напряжения может быть связано с коротким замыканием, включение дополнительных источников питания в эту цепь нецелесообразно и недопустимо.

Вводной выключатель включён. Это условие проверяется, чтобы АВР не сработало, когда напряжение исчезло из-за того, что вводной выключатель был отключён намеренно.

На соседнем участке, от которого предполагается получать питание после действия АВР, напряжение присутствует. Если обе питающие линии находятся не под напряжением, то переключение не имеет смысла.

После проверки выполнения всех этих условий логическая часть АВР даёт сигнал на отключение вводного выключателя обесточенной части электрической сети и на включение межлинейного (или секционного) выключателя. Причём, межлинейный выключатель включается только после того, как вводной выключатель отключился.

В низковольтных сетях одновременно в качестве измерительного и пускового органа могут служить магнитные пускатели.

Используются две основные схемы одностороннего питания потребителей при наличии двух или более источников.

В первой схеме один источник, включен и питает потребителей, а второй отключен и находится в резерве. Соответственно этому первый источник называется рабочим, а второй – резервным (рис. 3.1 *а, б)*. Во второй схеме все

источники нормально включены, но работают раздельно на выделенных потребителей. Деление осуществляется на одном из выключателей (рис. 3.1 *в*, *г*).

Рассмотрим принципы использования АВР на примере схем, приведенных на рис. 3.1.

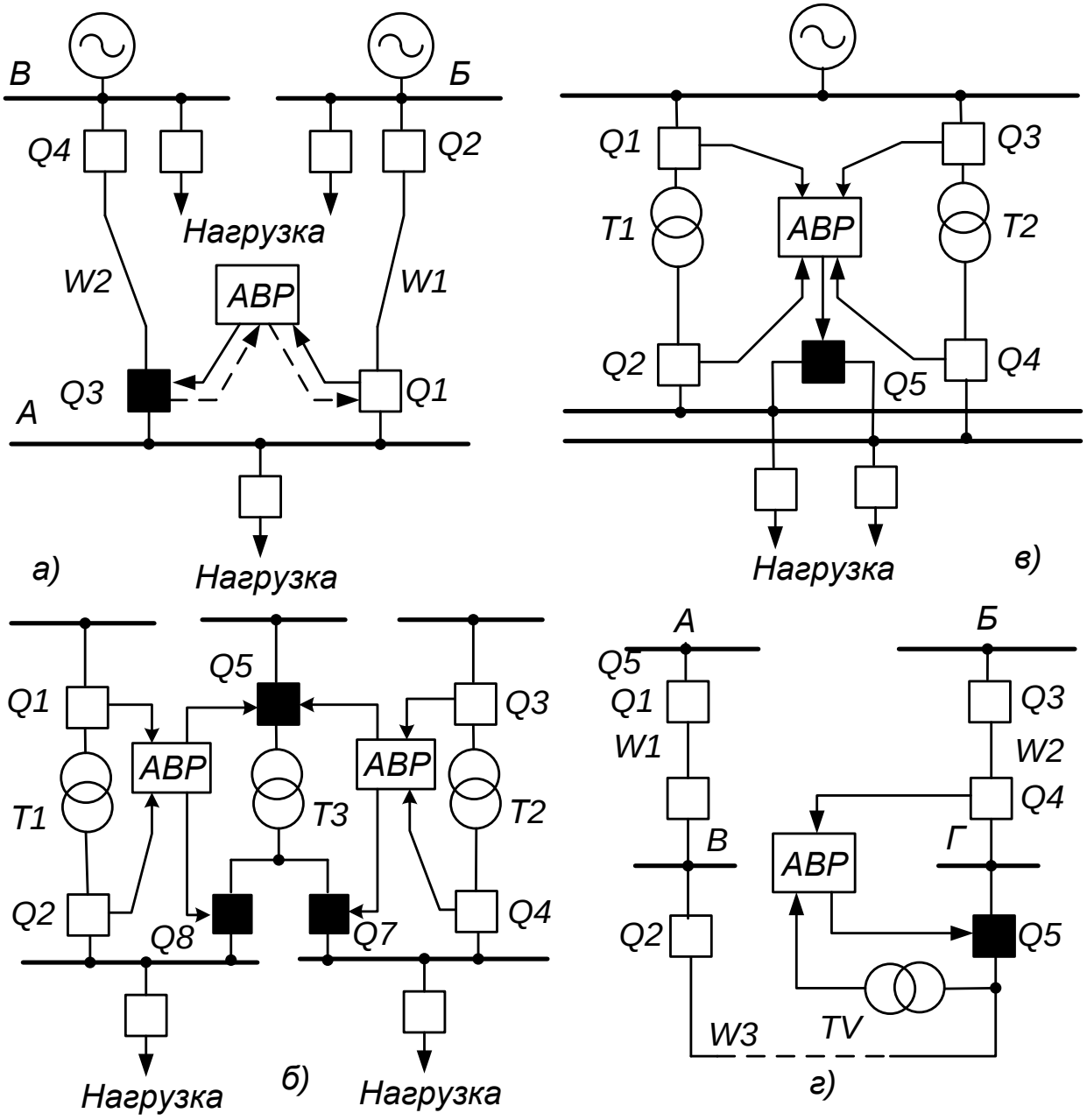


Рис. 3.1. Принципы осуществления АВР при разных схемах питания потребителей.

1. Питание подстанции *А* (рис. 3.1, *а*) осуществляется по рабочей линии *W1* от подстанции *Б*. Вторая линия, приходящая с подстанции *В*, является резервной и находится под напряжением

(выключатель *Q3* линии *W2* нормально отключен). При отключении линии *W1* автоматически от устройства *АВР* включается выключатель *Q3* и таким образом вновь подается питание потребителям подстанции *А*. Схемы АВР могут иметь одностороннее или двустороннее действие. При одностороннем АВР линия *W1* всегда должна быть рабочей, а линия *W2* – всегда резервной. При двустороннем АВР любая из этих линий может быть рабочей и резервной.

2. Питание электродвигателей и других потребителей собственных нужд каждого агрегата электростанции осуществляется обычно от отдельных рабочих трансформаторов (*Т1* и *Т2* на рис. 3.1, *б)*. При отключении рабочего трансформатора автоматически от схемы АВР включаются выключатель *Q5* и один из выключателей – *Q8* (при отключении *Т1*) или *Q7* (при отключении *Т2)* – резервного трансформатора *Т3*.

3. Трансформаторы *Т1* и *Т2* включены на разные системы шин (рис. 3.1, *б*). Шиносоединительный выключатель *Q5* нормально отключен. При аварийном отключении любого из рабочих трансформаторов автоматически от схемы *АВР* включается выключатель*Q5*, подключая нагрузку шин, потерявших питание, к оставшемуся в работе трансформатору. Если мощность одного трансформатора недостаточна для питания всей нагрузки подстанции, при действии АВР должны приниматься меры для отключения части наименее ответственных потребителей.

4. Подстанции *В* и *Г* (рис. 3.1, *г*) нормально питаются радиально от подстанций *А* и *Б* соответственно. Линия *W3* находится под напряжением со стороны подстанции *В,* а выключатель *Q5* нормально отключен. При аварийном отключении линии *W2* устройство *АВР,* установленное на подстанции *Г,* включает выключатель *Q5*, в результате чего питание с подстанции *Г* переводится на подстанцию *В* по. линии *W3*. При отключении линии *W1* подстанция *В* и вместе с ней линия *W3* остаются без напряжения. Исчезновение напряжения на трансформаторе напряжения *TV* также приводит в

действие устройство *АВР* на подстанции *Г,* которое включением выключателя *Q5* подает напряжение на подстанцию *В* от подстанции *Г.*

Опыт эксплуатации показывает, что АВР является очень эффективным средством повышения надежности электроснабжения. Успешность АВР составляет 90–95 %. Простота схем и высокая эффективность обусловили широкое применение АВР на электростанциях и в электрических сетях.

На рис. 3.2 приведена схема АВР на переменном оперативном токе для секционного выключателя подстанции с двумя трансформаторами, питающимися без выключателей на стороне высшего напряжения от двух линий. Секционный выключатель *Q3* нормально отключен. Оперативный ток для питания схемы автоматики подается от трансформаторов собственных нужд *Т3* и *Т4.* Особенностью схемы является то, что при исчезновении напряжения на одной из линий *(W1* или *W2)* устройство АВР включает секционный выключатель *Q3,* а при восстановлении напряжения на линии автоматически восстанавливает нормальную схему подстанции.

Пусковым органом схемы автоматики являются реле времени *КТ1* и *КТ2* типа ЭВ-235, контакты которых *КТ1.2* и *КТ2.2* включены последовательно в цепи *YATI.* Последовательно с контактами этих реле включен мгновенный контакт реле времени *КТ3.1* трансформатора *Т2,* которое контролирует наличие напряжения на этом трансформаторе. Обмотки реле *КТ1* и *КТ2* включены на разные трансформаторы *(Т3* и *TV1),* что исключает возможность ложного действия пускового органа в случае неисправности в цепях напряжения. Реле *КТ1,* подключенное к трансформатору собственных нужд *Т3,* установленному до выключателя трансформатора *Т1,* используется также для контроля за появлением напряжения на *Т1* при включении линии *W1.*

При исчезновении напряжения в результате отключения линии *W1* запустятся реле времени *КТ1* и *КТ2* и разомкнут свои мгновенные контакты *КТ1.1* и *КТ2.1,* снимая напряжение с обмотки реле времени *КТ3* типа ЭВ-248. Это реле при снятии с его обмотки напряжения мгновенно

возвращается в исходное положение, а при подаче напряжения срабатывает с установленной выдержкой времени.

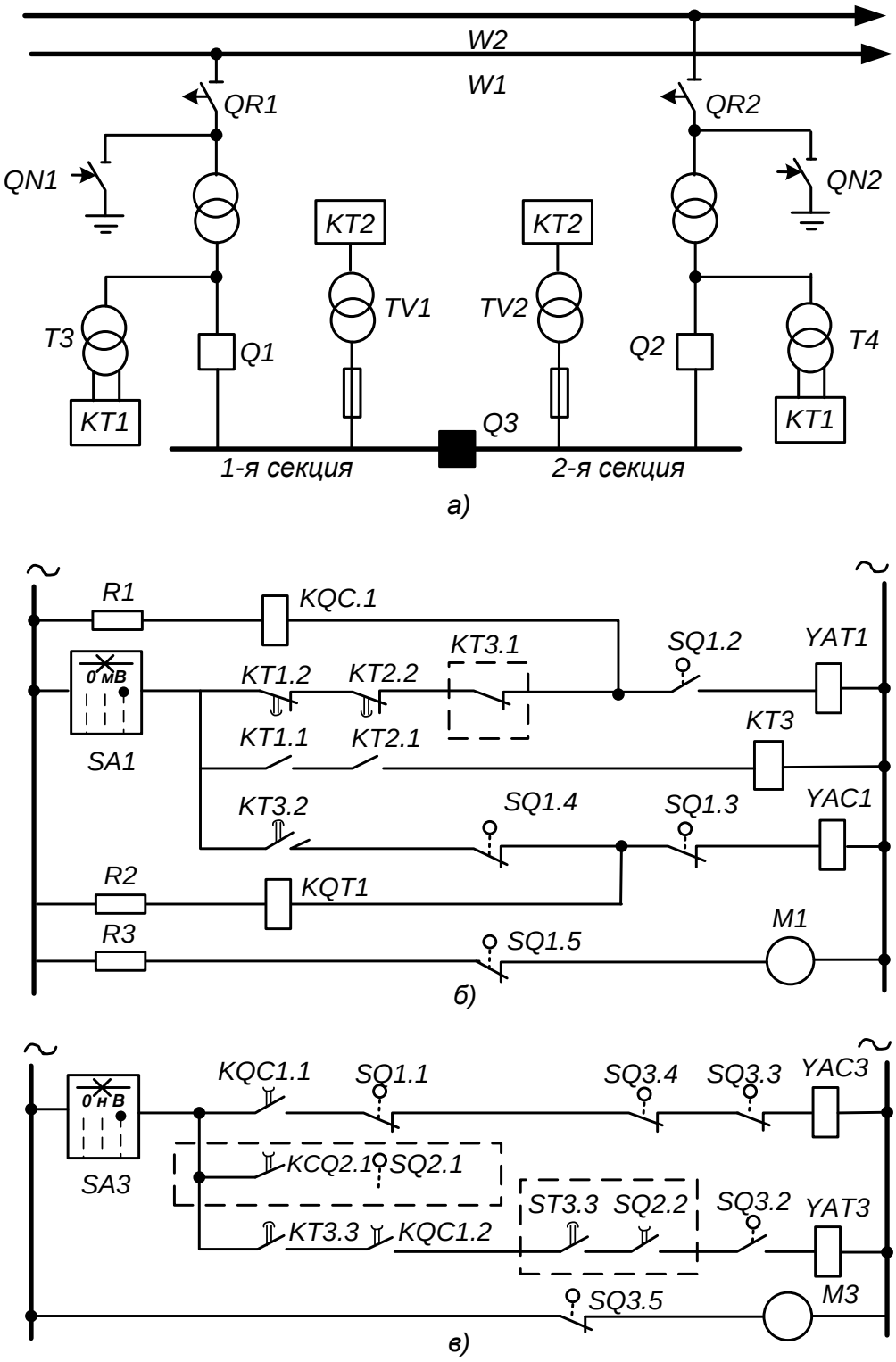


Рис. 3.2. Схемы АВР секционного выключателя на переменном оперативном токе для двухтрансформаторной подстанции, подключенной к линиям электропередачи без выключателей: а – схема подстанции; б – цепи управления и АВР выключателя Q1; в – цепи управления и АВР выключателя Q3; пунктиром обведены цепи, относящиеся к трансформатору Т2.

Если действием схемы АПВ линии напряжение на подстанции восстановлено не будет, то с установленной выдержкой времени (большей времени АПВ линии) замкнутся контакты реле времени *КТ1.2* и *К.Т2.2* и создадут цепь на катушку отключения *YAT1* выключателя *Q1* трансформатора *Т1*. При отключении выключателя *Q1* замкнется его вспомогательный контакт *SQ1.1* (рис. 3.2, *в*) в цепи катушки включения *YAC3* секционного выключателя *Q3* через еще замкнутый контакт *KQC1.1* реле однократности включения.

Секционный выключатель включится и подаст напряжение на 1-ю секцию подстанции, при этом подтянется реле времени *КТ2,* замкнет контакт *КТ2.1* и разомкнет *К.Т2.2*. Реле *КТ1* останется без напряжения, поэтому его контакт *КТ1.1* останется разомкнутым, а реле времени *КТ3* будет по-прежнему находиться в исходном положении, держа разомкнутыми все свои контакты.

При восстановлении напряжения на линии *W1* напряжение появится и на трансформаторе *Т1,* поскольку его отделитель оставался включенным. Получив напряжение, реле *КТ1* подтянется, замкнет контакт *КТ1.1* и разомкнет контакт *КТ1.2*. При замыкании контакта *КТ1.1* начнет работать реле времени *КТ3,* которое своим проскальзывающим контактом *КТ3.2* создаст цепь на включение выключателя *Q1,* а конечным контактом *КТ3.3* – цепь на отключение секционного выключателя *Q3,* при этом автоматически будет восстановлена исходная схема подстанции. Цепь на отключение в рассматриваемом случае секционного выключателя создается лишь при условии, что включен выключатель *Q2* трансформатора *Т2*. Если включение выключателя *Q3* будет неуспешным вследствие наличия устойчивого повреждения на 1-й секции, она должна быть выведена в ремонт. После окончания ремонта питание 1-й секции восстанавливается от *Т1* или от 2-й секции и она автоматически вводится в работу. Схема автоматики, аналогичная приведенной на рис. 3.2, обеспечивает действие АВР *Т2*.

В данном эксперименте моделируется схема понизительной подстанции (см. рис. 3.3). В нормальном режиме работы выключатели Q1 и Q2 включены,

секционный выключатель Q3 – отключен. При «аварийном» отключении выключателя Q1 (т.е. при исчезновении напряжения на шинах подстанции), сначала срабатывает защита минимального напряжения, отключающая выключатель Q2, а затем – устройство АВР, которое включает выключатель Q3.

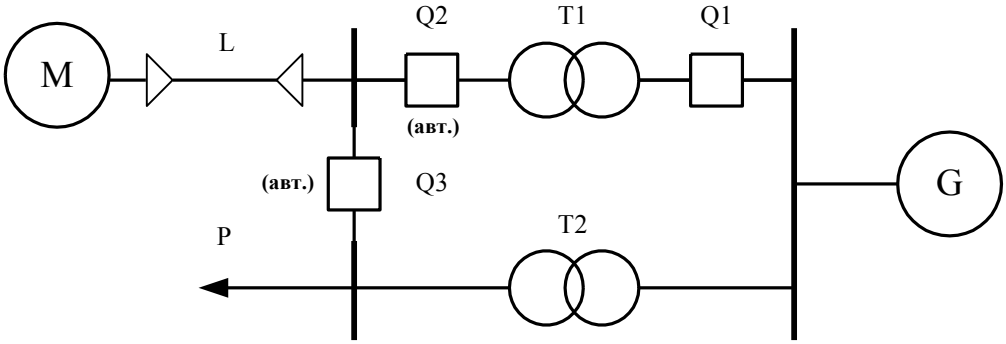


Рис. 3.3. Схема понизительной подстанции, моделируемая в эксперименте.

Защита минимального напряжения и устройство АВР моделируются на компьютере с помощью специальной программы. Пуск устройства АВР происходит в случае исчезновения (снижения до значения уставки) напряжения на шинах подстанции.

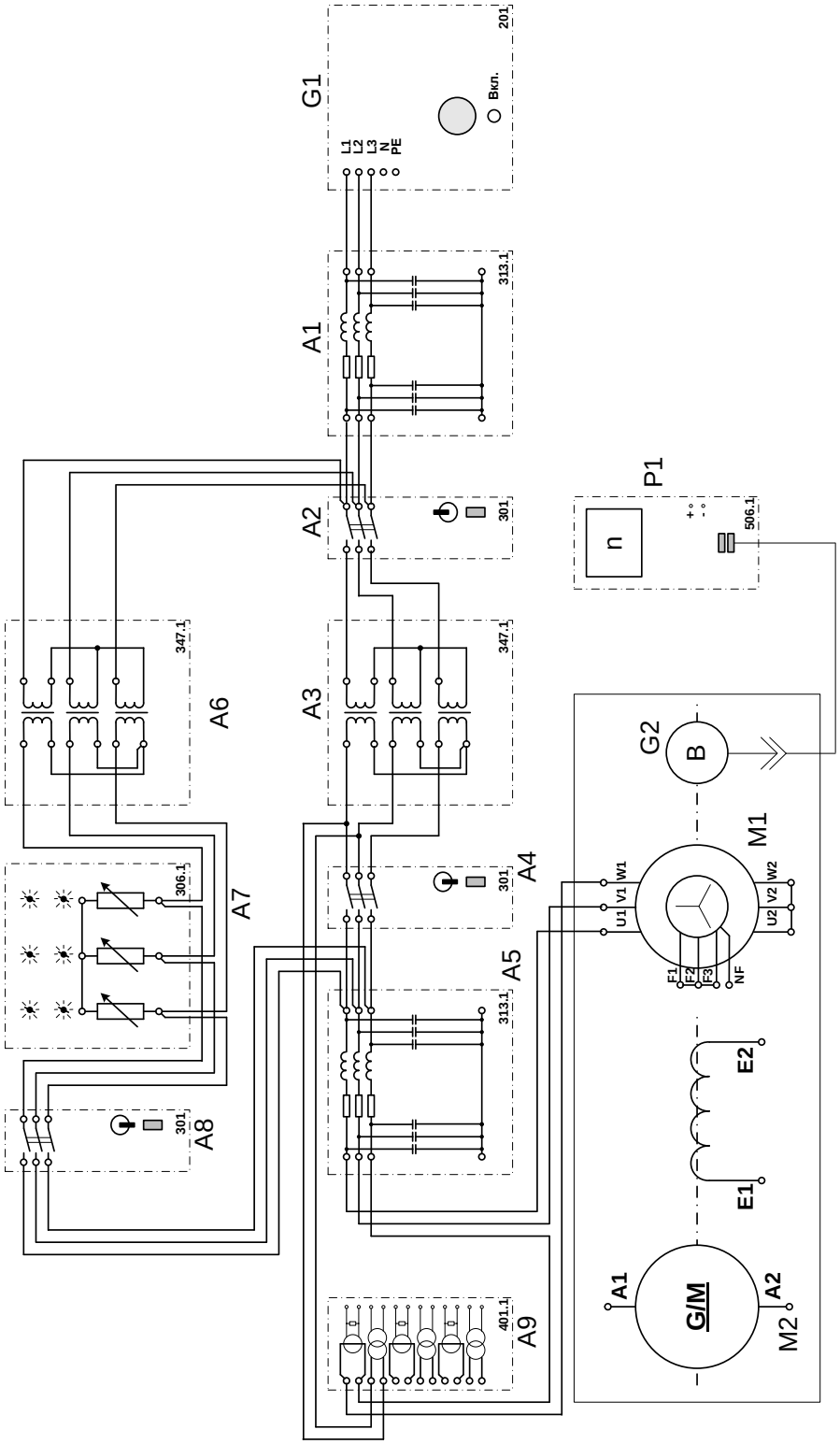
Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1, A5	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,3 А
A2, A4, A8	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A3, A6	Блок однофазных трансформаторов	347.1	3 x 80 В·А;240, 230, 220, 133, 127, 115 / 240, 230, 220, 133, 127, 115 В
A7	Активная нагрузка	306.1	220/380 В; 50Гц; 3×0…50 Вт;
A9	Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напр.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A10	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A11	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A12	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A13	Персональный компьютер	550	IBM совместимый, плата сбора информации PCI 6024E
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А

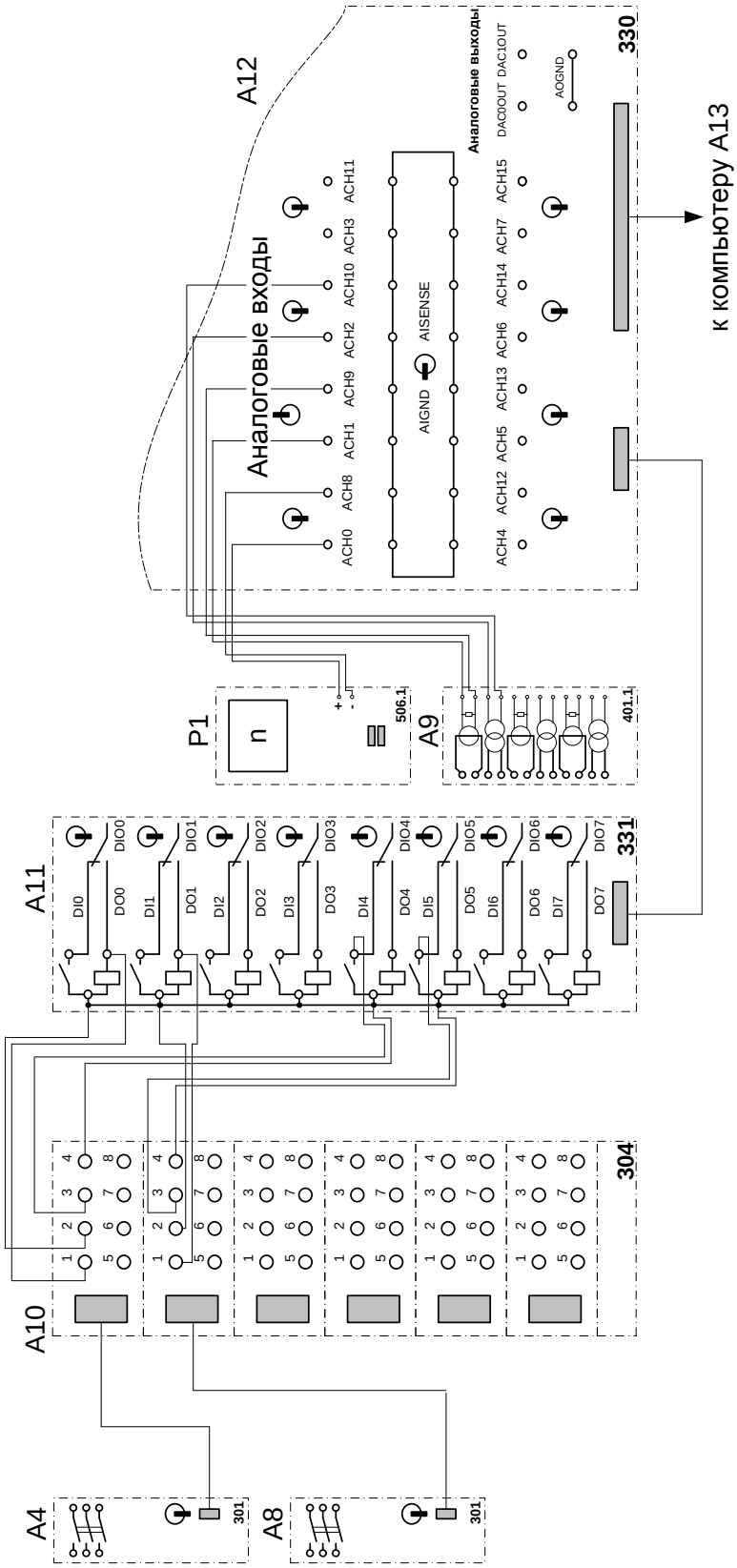
Продолжение перечня аппаратуры

G2	Преобразователь угловых перемещений	104	6 выходных сигналов
M1	Машина переменного тока	102.1	100 Вт / ~ 230 В / 1500 мин$^{-1}$
P1	Указатель частоты вращения	506.2	-2000…0…2000 мин$^{-1}$

Электрическая схема соединения



Продолжение электрической схемы соединений



Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите схему тепловой защиты машины переменного тока (стр. 7).
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Тумблеры делителей напряжения коннектора A12 установите в положение «1:1» для всех входов, кроме ACH1-ACH9, который установите в положение «1:10». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора A12 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока A11 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.
- Переключатели режимов работы трехполюсных выключателей A4 и A8 установите в положение «АВТ.», выключателя A2 – в положение «РУЧН.». Номинальные напряжения обмоток трансформаторов блоков A3 и A6 выставьте равными 127/230 В. Параметры линий электропередачи A1 и A5 переключателями установите следующими: R = 0 Ом, L/R_L=0,3/8 Гн/Ом, C1=C2=0 мкФ. Выберите мощность активной нагрузки A7, например 80% от 50 Вт во всех трех фазах.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A13 и запустите прикладную программу «Автоматическое включение резерва».
- Задайте уставки защиты и АРВ, нажав на соответствующую виртуальную кнопку ⚒. Например, используйте уставки по умолчанию.
- Включите выключатели «СЕТЬ» выключателей A2, A4, A8, блока A11 ввода-вывода цифровых сигналов, указателя частоты вращения P1.

- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Включите выключатель А2 нажатием кнопки «ВКЛ» на его передней панели.
- Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» и дождитесь разгона двигателя М1. Смоделируйте исчезновение напряжения, отключив выключатель А2. Защита минимального напряжения должна отключить выключатель А4, после чего устройство АВР должно включить выключатель А8.
- Отключите двигатель М1 нажатием на виртуальную кнопку «Отключить все выключатели».
- Нажмите на виртуальную кнопку «Отобразить записанный процесс» и проанализируйте осциллограммы, а также информацию о последовательности произошедших событий.
- При работе с программой следует пользоваться ее возможностями:
  - Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
  - Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
  - Для удобства определения значений величин по графикам в нижней части экрана отображаются текущие координаты указателя мыши.
  - Запись электромагнитных процессов в схеме производится программой в циклический буфер.
- По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков А2 , А4, А8, А11 и Р1.

Контрольные вопросы

1. Каким образом можно обеспечить высокую надёжность схемы электроснабжения?

2. Для какой категории потребителей необходимо осуществлять бесперебойное питание и каким образом можно это осуществить?

3. Что необходимо учитывать при проектировании схемы АВР, допускающей включение секционного выключателя?

4. Виды АВР?

5. Основные требования устройств АВР?

6. Принцип действия АВР?

7. Принципы осуществления АВР при разных схемах питания потребителей?

8. АВР секционного выключателя?

Лабораторная работа №4

Автоматическое ограничение снижения частоты в электрической системе отключениями нагрузки

Цель работы – ознакомление с принципами частотной разгрузки и частотного АПВ.

Общие сведения

При нарушении баланса мощностей в электроэнергетической системе начинается электромеханический переходный процесс, сопровождающийся снижением или повышением частоты вращения синхронных генераторов. Пока в энергосистеме имеется вращающийся резерв активной мощности, системы регулирования частоты и мощности будут поддерживать заданный уровень частоты. После того как вращающийся резерв будет исчерпан, дефицит активной мощности, вызванный отключением части генераторов или включением новых потребителей, повлечет за собой снижение частоты в энергосистеме.

Небольшое снижение частоты, на несколько десятых герца, не представляет опасности для нормальной работы энергосистемы, хотя и влечет за собой ухудшение экономических показателей. Снижение же частоты более чем на 1–2 Гц представляет серьезную опасность и может привести к полному расстройству работы энергосистемы.

Это в первую очередь определяется тем, что при понижении частоты снижается частота вращения электродвигателей, а, следовательно, снижается и производительность приводимых ими механизмов собственного расхода тепловых электростанций. Вследствие снижения производительности механизмов собственного расхода резко уменьшается располагаемая мощность тепловых электростанций, особенно электростанций высокого давления, что влечет за собой дальнейшее снижение частоты в энергосистеме. Таким образом, происходит лавинообразный процесс – «лавина частоты», который может привести к полному расстройству работы энергосистемы. Следует также

отметить, что современные крупные паровые турбины не могут длительно работать при низкой частоте из-за опасности повреждения их рабочих лопаток.

Процесс снижения частоты в энергосистеме сопровождается также снижением напряжения, что происходит вследствие уменьшения частоты вращения возбудителей, расположенных на одном валу с основными генераторами. Если регуляторы возбуждения генераторов и синхронных компенсаторов не смогут удержать напряжение, то также может возникнуть лавинообразный процесс – «лавина напряжения», так как снижение напряжения сопровождается увеличением потребления реактивной мощности, что еще более осложнит положение в энергосистеме.

Аварийное снижение частоты в энергосистеме, вызванное внезапным возникновением значительного дефицита активной мощности, протекает очень быстро – в течение нескольких секунд. Поэтому дежурный персонал не успевает принять каких-либо мер, вследствие чего ликвидация аварийного режима должна возлагаться на устройства автоматики. Для предотвращения развития аварии должны быть немедленно мобилизованы все резервы активной мощности, имеющиеся на электростанциях. Все вращающиеся агрегаты загружаются до предела с учетом допустимых кратковременных перегрузок.

При отсутствии вращающегося резерва единственно возможным способом восстановления частоты является – ***автоматическая частотная разгрузка (АЧР)***, срабатывающих при опасном снижении частоты.

Автоматическая частотная разгрузка – один из методов релейной защиты, направленный на повышение надежности работы сети электроснабжения. Метод заключается в отключении наименее важных потребителей электроэнергии при внезапно возникшем дефиците мощности в системе.

Глубина снижения частоты зависит не только от дефицита мощности в первый момент аварии, но и от характера нагрузки. Потребление мощности одной группой потребителей, к которой относятся электроосветительные приборы и другие установки, имеющие чисто активную нагрузку, не зависит от

частоты и при ее снижении остается постоянным. Потребление же другой группы потребителей – электродвигателей переменного тока – при уменьшении частоты снижается. Чем больше в энергосистеме доля нагрузки первой группы, тем больше понизится частота при возникновении одинакового дефицита, активной мощности. Нагрузка потребителей второй группы будет в некоторой степени сглаживать эффект снижения частоты, поскольку одновременно будет уменьшаться потребление мощности электродвигателями.

Уменьшение мощности, потребляемой нагрузкой при снижении частоты, или, как говорят, *регулирующий эффект нагрузки*, характеризуется коэффициентом $\boldsymbol{k}_{\text{нагр}}$, равным отношению

$$k_{нагр} = \frac{\Delta p, \%}{\Delta f, \%} \tag{4.1}$$

Коэффициент регулирующего эффекта нагрузки показывает, на сколько процентов уменьшается потребление нагрузкой активной мощности на каждый процент снижения частоты. Значение коэффициента регулирующего эффекта нагрузки должно определяться специальными испытаниями и принимается при расчетах равным 1,5–2,5.

Согласно ПУЭ все потребители электрической энергии делятся на три категории:

– I категория – к потребителям этой группы относятся те, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный материальный ущерб, опасность для безопасности государства, нарушение сложных технологических процессов и прочие;

– II категория – к этой группе относят электроприёмники, перерыв в питании которых может привести к массовому недоотпуску продукции, простою рабочих, механизмов, промышленного транспорта;

– III категория – все остальные потребители электроэнергии.

Потребители I категории должны иметь постоянное электропитание, причем от двух независимых источников. Перерыв в питании от одного из источников допускается только на время действия АВР. Потребители II

категории допускают работу от одного источника и перерыв питания не должен превышать время работы автоматики резервирования. Потребители же III категории допускают перерыв в электропитании до суток (время ликвидации аварии выездной аварийной бригадой). Таким образом, действие АЧР направлено на отключение потребителей III категории, как наименее важных.

Требования к АЧР.

– Устройства АЧР должны устанавливаться там, где возможно возникновение значительного дефицита активной мощности во всей энергосистеме или в отдельных ее районах.

– При проектировании схемы АЧР электрической системы следует распределять потребителей по подстанциям и распределительным устройствам с учетом разделения на категории. Кроме того, следует предусмотреть все возможные виды аварий и предусмотреть такую мощность отключаемых электроприёмников, которой окажется достаточно, чтобы вернуть систему в нормальное состояние после их отключения.

– Устройства АЧР должны выполняться с таким расчетом, чтобы была полностью исключена возможность даже кратковременного снижения частоты ниже 45 Гц, время работы с частотой ниже 47 Гц не превышало 20 с, а с частотой ниже 48,5 Гц – 60 с.

При выполнении АЧР необходимо учитывать все реально возможные случаи аварийных отключений генерирующей мощности и разделения энергосистемы или энергообъединения на части, в которых может возникнуть дефицит активной мощности. Чем больший дефицит мощности может возникнуть, тем на большую мощность должно быть отключено потребителей. Для того чтобы суммарная мощность нагрузки потребителей, отключаемых действием АЧР, хотя бы примерно соответствовала дефициту активной мощности, возникшему при данной аварии, АЧР, как правило, выполняется многоступенчатой, в несколько очередей, отличающихся уставками по частоте срабатывания.

На рис. 4.1 приведены кривые, характеризующие процесс изменения частоты в энергосистеме при внезапном возникновении дефицита активной мощности. Если в энергосистеме отсутствует АЧР, то снижение частоты, вызванное дефицитом активной мощности, будет продолжаться до такого установившегося значения, при котором за счет регулирующего эффекта нагрузки и действия регуляторов частоты вращения турбин вновь восстановится баланс генерируемой и потребляемой мощностей при новом, сниженном значении частоты (кривая *I*).

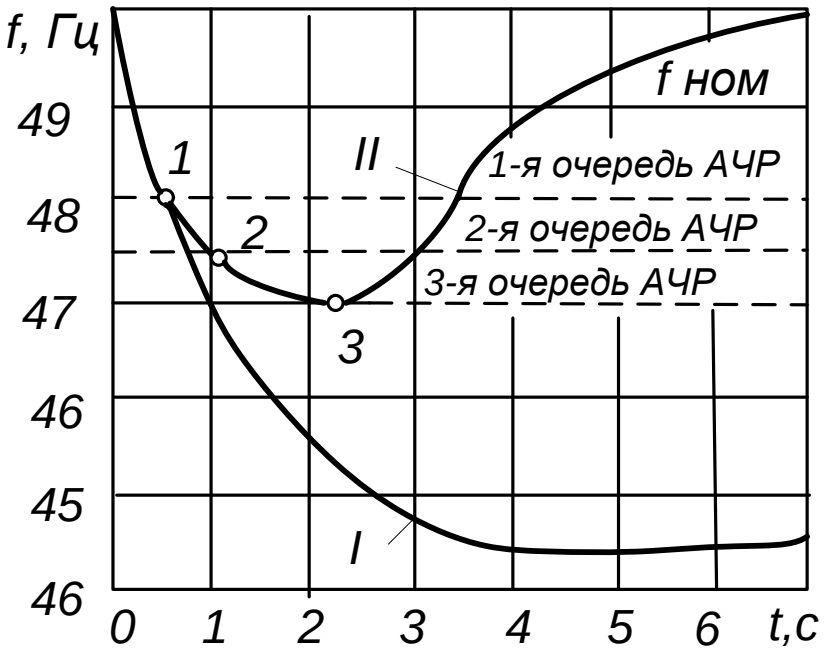


Рис. 4.1. Изменение частоты при возникновении дефицита активной мощности: I – при отсутствии АЧР; II – при наличии АЧР.

Иначе будет протекать процесс изменения частоты при наличии АЧР (кривая *II*). Пусть, например, АЧР состоит из трех очередей с уставками срабатывания 48; 47,5 и 47 Гц. Когда частота снизится до 48 Гц (точка *1*), сработают устройства АЧР 1-й очереди и отключат часть потребителей: дефицит активной мощности уменьшится, благодаря чему уменьшится и скорость снижения частоты. При частоте 47,5 Гц (точка *2)* сработают устройства АЧР 2-й очереди и, отключая дополнительно часть потребителей, еще больше уменьшат дефицит активной мощности и скорость снижения

частоты. При частоте 47 Гц (точка *3)* сработают устройства АЧР 3-й очереди и отключат потребителей на мощность, которая достаточна не только для прекращения частоты, но и для ее восстановления до номинального или близкого к номинальному значению.

Устройства АЧР, используемые для ликвидации аварийного дефицита мощности в энергосистемах, подразделяются на три основные категории.

– Первая категория автоматической частотной разгрузки – *АЧРI* – быстродействующая (t = 0,1 – 0,3 с) с уставками срабатывания от 48,5 Гц до 46,5 Гц. Назначение очередей *АЧРI* – не допустить глубокого снижения частоты в первое время развития аварии. Уставки срабатывания отдельных очередей *АЧРI* отличаются одна от другой на 0,1 Гц. Мощность, подключаемая к *АЧРI*, примерно равномерно распределяется между очередями.

Вторая категория автоматической частотной разгрузки – *АЧРII* – предназначена для восстановления частоты до нормального значения, если она длительно остается пониженной, или, как говорят, «зависает» на уровне около 48 Гц. Вторая категория *АЧРII* работает после отключения части потребителей от *АЧРI*, когда снижение частоты прекращается и она устанавливается на уровне 47,5–48,5 Гц.

Верхний уровень уставок по частоте устройств *АЧРII* принимается в пределах 48,8–48,6 Гц на 0,2 Гц выше верхнего уровня уставок по частоте *АЧРI*. При этом диапазон уставок *АЧРII* по частоте должен быть 0,3 Гц с интервалом по очередям 0,1 Гц. Весь объем разгрузки *АЧРII* разделяется на три-четыре части (например, 40, 30 и 30 % общего объема).

Уставки по времени устройств *АЧРII* устанавливаются возрастающими от *АЧРII* с максимальными уставками по частоте к *АЧРII* с минимальными уставками. Наиболее ответственные потребители при этом следует подключать к *АЧРII* с минимальными уставками по частоте (максимальными уставками по времени). Выдержки времени *АЧРII* отличаются друг от друга на 3 с и принимаются равными 5 – 90 с. Большие выдержки времени *АЧРII* принимаются для того, чтобы за это время были мобилизованы резервы

активной мощности, имеющиеся в энергосистеме: загружены все работающие агрегаты, пущены и загружены резервные гидроагрегаты. При этом наибольшие выдержки времени 70 – 90 с следует принимать в условиях возможной мобилизации мощности ГЭС.

Кроме двух категорий автоматической частотной разгрузки – *АЧРI* и *АЧРII* – в эксплуатации применяется также так называемая дополнительная разгрузка. Такие устройства АЧР применяются для осуществления местной разгрузки при возникновении большого дефицита активной мощности в районе энергосистемы или на отдельной подстанции, когда суммарной мощности потребителей, подключенных к очередям *АЧРI* и *АЧРII*, оказывается недостаточно для ликвидации возможного дефицита активной мощности в этом районе.

Действие устройств АЧР должно сочетаться с другими видами противоаварийной автоматики. Так, например, для того чтобы АЧР было эффективным, нагрузка потребителей, отключенных при аварийном снижении частоты, не должна подхватываться устройствами АПВ и АВР. Поэтому АПВ линии, отключенной действием АЧР, должно блокироваться. Линии и трансформаторы, обеспечивающие резервное питание в схемах АВР, должны отключаться теми же очередями АЧР, что и основные питающие линии и трансформаторы.

В настоящем эксперименте с помощью одного электромашинного агрегата моделируется обобщенная электрическая система, а с помощью другого – обобщенная нагрузка. Целью эксперимента является исследование влияния на режим работы параметров частотной характеристики энергосистемы P(f), а также моделирование автоматики частотной разгрузки.

С помощью специальной программы можно, во-первых, регистрировать режимные параметры работы системы, во-вторых, задавать необходимую частотную характеристику генератора и, в-третьих, моделировать автоматику частотной разгрузки. Во втором и третьем случаях генератор будет поддерживать заданный режим работы до тех пор, пока частота в системе не

станет меньше критической, после чего возникает лавина частоты и электрическая система аварийно останавливается.

Схемы устройства АЧР.

На рис. 4.2,*а* приведена схема совмещенных АЧРI и АЧРII. Действие АЧР осуществляется с помощью реле частоты *KF1,* промежуточного реле *KL1* и выходного реле *KL2.* Устройство АЧРII выполняется с помощью реле частоты *KF2* и реле времени *КТ1*. Сигнализация срабатывания АЧРI и АЧРII выполняется с помощью указательных реле *КН1* и *КН2* соответственно. При выполнении АЧР только одного вида (АЧРI или АЧРII) соответствующая часть реле исключается из схемы.

С целью экономии реле частоты во многих случаях для осуществления совмещенного АЧР используются специальные схемы, в которых предусматривается переключение уставки одного реле частоты. Одна из таких схем приведена на рис. 4.2,*б*. В схеме АЧР используется одно реле частоты *KF* типа РЧ-1, на измерительных элементах которого настроены уставки, соответствующие АЧРI и АЧРII. В нормальном режиме до срабатывания *KF* замкнут контакт *KL2.1* двухпозиционного реле типа РП8, чем обеспечивается готовность к действию обоих измерительных элементов реле, настроенных на уставки АЧРI и АЧРII.

При снижении частоты до уставки АЧРII замкнется контакт *KF.1* и реле *KLI* контактом *KL1.1* подаст плюс на верхнюю обмотку реле *KL2,* которое, переключив свои контакты, выведет из действия измерительный элемент с уставкой АЧРII. Если частота понизится до уставки АЧРI, контакт *KF.1* при этом не разомкнется или, разомкнувшись кратковременно, замкнется вновь, после чего с небольшим замедлением сработает промежуточное реле *KL3* и контактом *KL3.1* подаст импульс через указательное реле *КН1* на выходное промежуточное реле *KL5.* На этом работа схемы закончится.

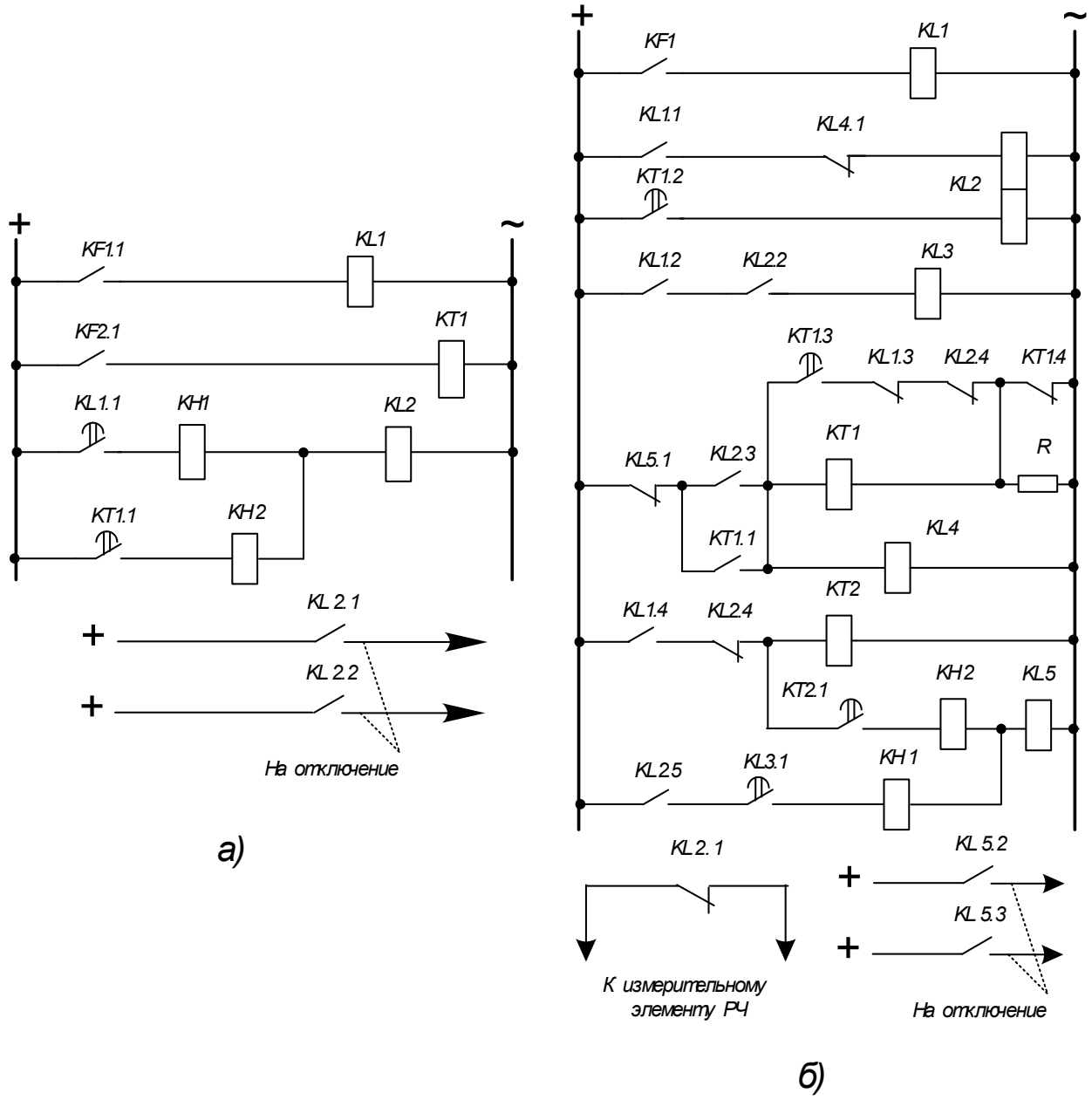


Рис. 4.2. Схемы АЧРI и АЧРII: а) с двумя реле частоты; б) с одним реле частоты с переключением уставки.

Если частота не снизится до уставки АЧРI, схема будет продолжать работать. Реле времени *КТ1,* сработав при замыкании контакта *KL2.3,* будет самоудерживаться через свой мгновенный замыкающий контакт *КТ1.1.* Спустя выдержку времени, установленную на проскальзывающем контакте *КТ1.2,* будет подан плюс на нижнюю обмотку реле *KL2,* и оно переключит свои контакты, вновь вводя в действие измерительный элемент с уставкой АЧРII. В течение всего времени, пока не замкнется проскальзывающий контакт *КТ1.2,* схема будет готова к действию на отключение без выдержки времени в случае

снижения частоты до уставки АЧР1. После замыкания проскальзывающего контакта *КТ1.2* и переключения контактов реле *KL2* цепь отключения от АЧР1 будет выведена и в работе останется только АЧРII. После переключения *KL2* сработают вновь *KF* (если частота в энергосистеме будет ниже уставки срабатывания АЧРII) и реле *KL1* и запустится реле времени *КТ2,* которое, доработав, через указательное реле *КН2* подаст плюс на выходное реле схемы *KL5.* Промежуточное реле *KL4,* обмотка которого включена параллельно обмотке *КТ1,* будет держать своим контактом *KL4.1* разомкнутой цепь верхней обмотки реле *KL2,* предотвращая его повторное срабатывание.

Возврат схемы в исходное положение осуществляется после срабатывания выходного реле *KL5,* которое разомкнет контакт *KL5.1* в цепи обмоток реле *КТ1* и *KL4.* В случае если схема не подействует на отключение вследствие восстановления частоты в энергосистеме выше уетавки АЧРII и возврата реле *KF,* возврат схемы будет осуществлен шунтированием обмотки *КТ1* по цепи: упорный контакт *КТ1.3* – размыкающий контакт *KL1.3* – размыкающий контакт *KL2.4.* Выдержка времени АЧРII в рассматриваемой схеме определяется суммой выдержек времени, установленных на *КТ2* и на проскальзывающем контакте *КТ1.2.*

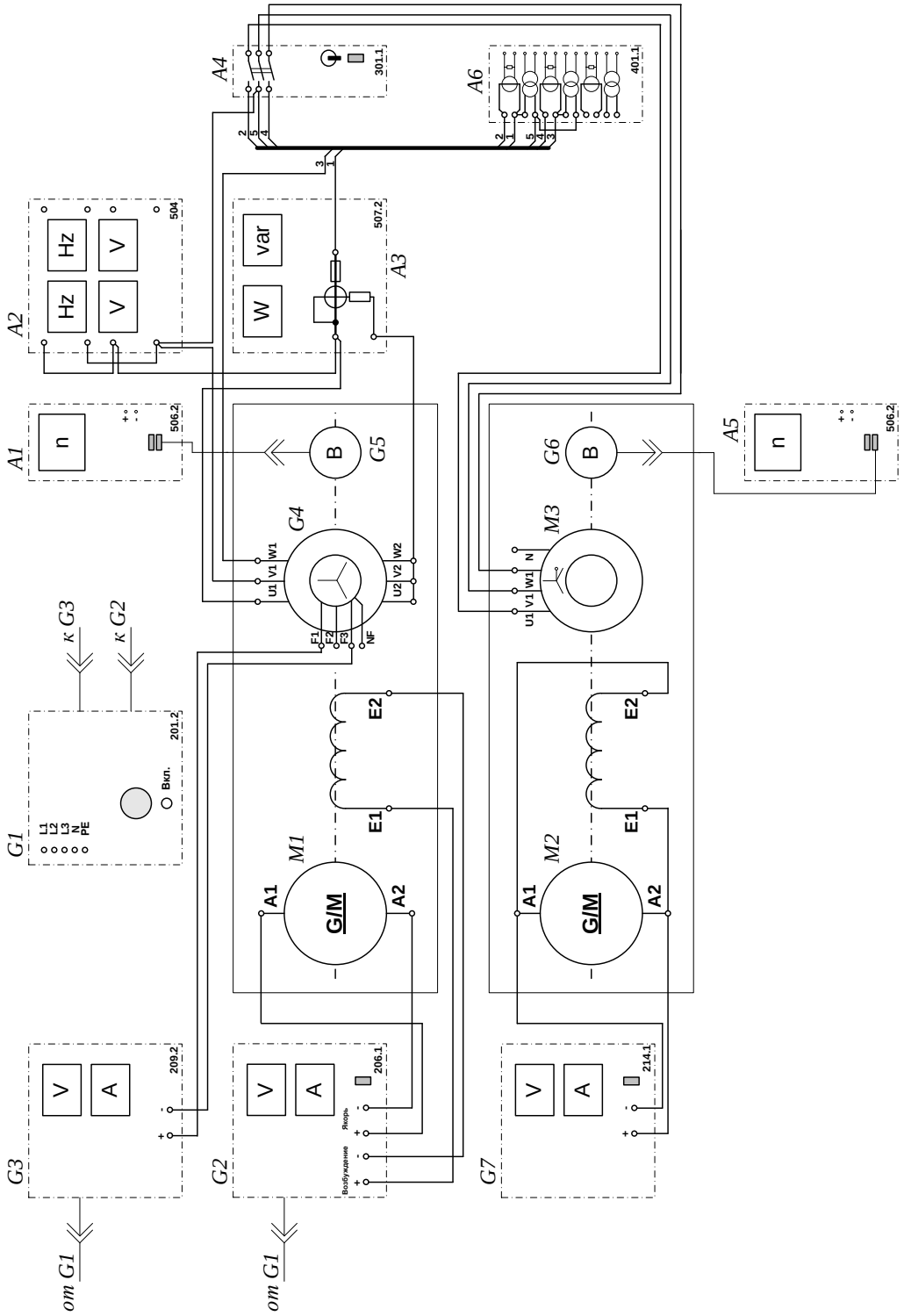
Перечень аппаратуры

Обозна-чение	Наименование	Тип	Параметры
A1, A5	Указатель частоты вращения	506.2	2000…0…2000 мин$^{-1}$
A2	Измеритель напряжений и частот	504.2	2 вольтметра 0..500 В ~ 2 частотомера 45..55 Гц; 220 В ~
A3	Измеритель мощностей	507.2	15; 60; 150; 300; 600 В, 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А.
A4	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A6	Блок измерительных тр-ов тока и напряжения	401.1	600 В / 3 В (тр-р напряж.) 0,3 А / 3 В (тр-р тока)
A7	Терминал	304	6 розеток с 8 конт.; 6×8 гнезд
A8	Коннектор	330	8 аналог. диф. входов;2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/выходов
A9	Персональный компьютер	550	IBM совместимый, Windows XP, плата сбора информации PCI 6024E
A10	Блок ввода-вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа«сухой контакт»; 8 релейных выходов
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А

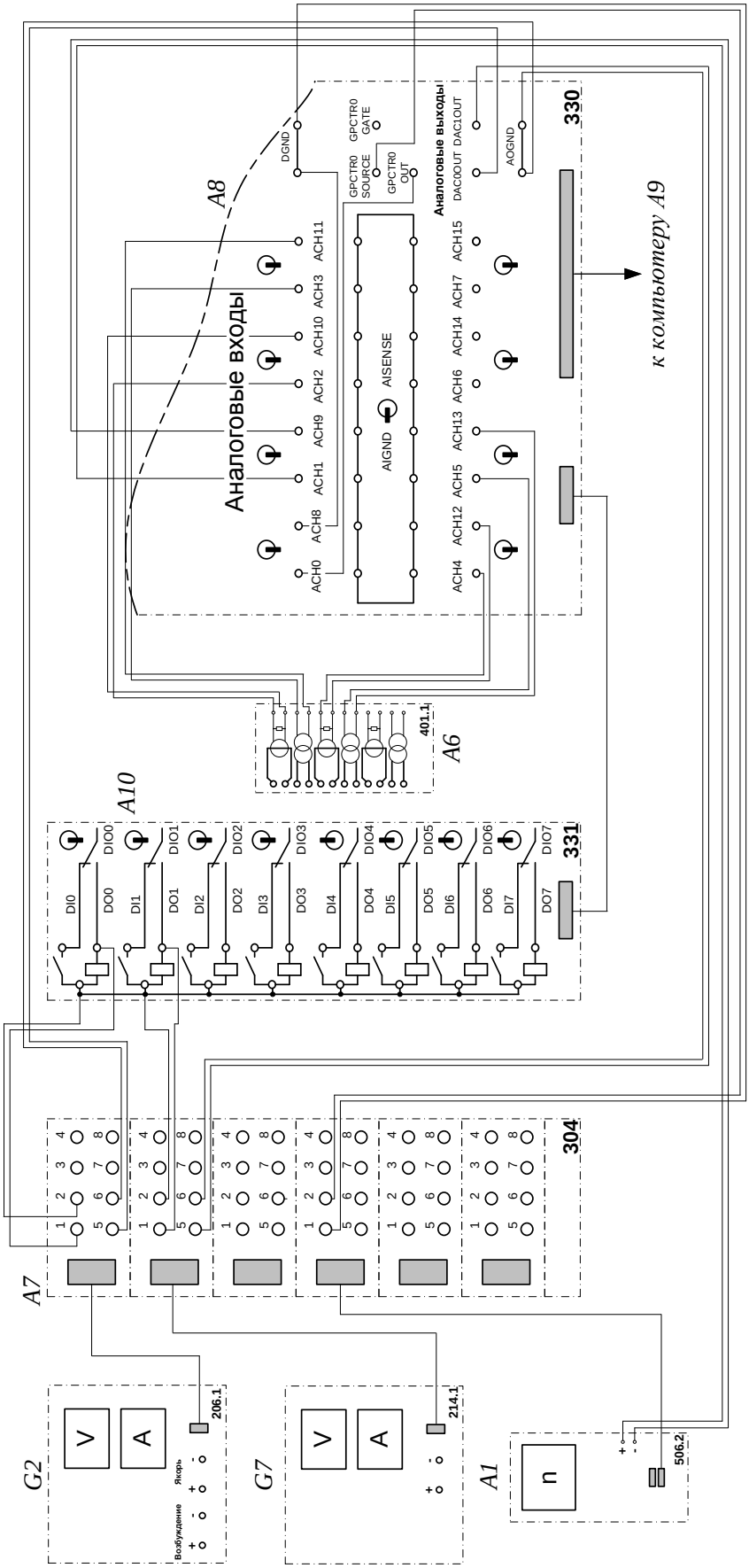
Продолжение перечня аппаратуры

G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	Цепь якоря 0…250 В –; 3 А Цепь возбуждения 200 В –; 1 А
G3	Возбудитель синхронной машины	209.2	0…40 В –; 3,5 А
G4	Машина переменного тока	102.1	100 Вт / ~ 230 В / 1500 мин$^{-1}$
G5, G6	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2500 имп.за оборот
G7	Источник постоянного напряжения	214.1	0..100 В / 1, А
M1, M2	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт / 220 В /0,56 А (якорь) / 2×110 В / 0,25 А (возбуждение)
M3	Асинхронный двигатель	106	120 Вт / 380 В

Электрическая схема соединений.



Электрическая схема соединений (продолжение).



Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.
- Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключатели режимов работы трехполюсного выключателя A4, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины, источника постоянного напряжения G7 установите в положение «РУЧН.». Тумблеры делителей напряжения коннектора A8 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора A8 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока A10 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.
- Включите выключатели «СЕТЬ» трехполюсного выключателя A4, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины, указателей A1 и A5 частоты вращения, источника постоянного напряжения G7, измерителя мощностей A3.
- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A9 и запустите программу «Автоматическое ограничение снижения частоты в электрической системе отключениями нагрузки».

- Включите возбудитель G3 синхронной машины, нажав кнопку «ВКЛ.» на его передней панели. Вращая регулировочную рукоятку, установите ток обмотки возбуждения генератора равным 2А.
- Запустите сбор данных в ручном режиме, нажав для этого виртуальную кнопку «Запустить» или выбрав соответствующий пункт в меню «Действия».
- Регулировочную рукоятку источника питания G2 двигателя постоянного тока поверните против часовой стрелки до упора. Включите источник G2, нажав кнопку «ВКЛ.» на его передней панели.
- Наблюдая изменение параметров схемы по виртуальным приборам программы, вращайте регулировочную рукоятку источника G2 по часовой стрелке. Установите частоту вращения генератора равной примерно 1500 об/мин, после чего включите выключатель А4, нажав соответствующую кнопку на его передней панели. Убедитесь в том, что нагрузочный силовой агрегат пришел во вращение. Обратите внимание на изменение параметров режима работы агрегатов.
- Изменяйте напряжение источника питания G2 двигателя постоянного тока, ток возбуждения генератора, противодействующий момент на валу нагрузочного агрегата (вращением регулировочной рукоятки источника G7). Наблюдайте изменение режимных параметров схемы.
- Остановите сбор данных, нажав для этого виртуальную кнопку «Остановить» или выбрав соответствующий пункт из меню «Действия».
- Регулировочную рукоятку источника питания G2 двигателя постоянного тока установите в положение против часовой стрелки до упора. Отключите источник G2, нажав на кнопку «ОТКЛ.» на его передней панели. Отключите трехполюсный выключатель А4.
- Переключатели режима работы источников G2 и G7 установите в положение «АВТ.».
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока А10 ввода-вывода цифровых сигналов.

- Выберите автоматический режим работы программы, нажав для этого соответствующую виртуальную кнопку на экране компьютера.
- Задайте уставки управления , используемые программой. Например, оставьте уставки, заданные по умолчанию.
- Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» . После завершения разгона генератора включите выключатель А4 нажатием на кнопку «ВКЛ.» на его передней панели.
- Установите режим работы энергосистемы виртуальным ползунком-переключателем в положение «Другой (двигайте точку на графике)».
- Изменяйте частотную характеристику задания (путем «перетаскивания» мышкой точки на соответствующем графике), и противодействующий момент на валу нагрузочного агрегата (вращением регулировочной рукоятки автотрансформатора G7). Наблюдайте изменение режимных параметров схемы.
- При «аварийной» остановке генератора остановите программу и запустите вновь (кнопкой «Остановить» и «Запустить» соответственно).
- Установите режим работы энергосистемы виртуальным ползунком-переключателем в положение «Нормальный».
- Смоделируйте утяжеленный режим работы энергосистемы, переключив ползунок в положение «Утяжеленный».
- Смоделируйте (вручную) частотную разгрузку, переключив ползунок «Параметры нагрузки» в положение «После разгрузки».
- Вновь установите режим работы энергосистемы виртуальным ползунком в положение «Нормальный».
- Установите галочку «Разгружать автоматически» и задайте время срабатывания автоматики частотной разгрузки.
- Смоделируйте утяжеленный режим работы энергосистемы, переключив ползунок в положение «Утяжеленный» и дождитесь срабатывания автоматической частотной разгрузки.

- Измените значения уставок и параметров программы. Повторите эксперимент.
- При работе с программой следует пользоваться её возможностями:
  - Для удобства определения значений величин по графику на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
  - Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
  - Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на соответствующем объекте правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» используемых в эксперименте блоков.

Контрольные вопросы

1. Каким образом в энергосистеме поддерживается заданный уровень частоты?

2. Перечислите последствия снижения частоты в энергосистеме.

3. Что такое «лавина частоты» и «лавина напряжения»?

4. Отчего зависит глубина снижения частоты в энергосистеме?

5. Что такое коэффициент регулирующего эффекта нагрузки?

6. Перечислите категории потребителей. На какую категорию направлено действие АЧР? Почему?

7. Основные требования к устройствам АЧР?

8. Сравните процессы изменение частоты в энергосистеме при возникновении дефицита активной мощности при отсутствии АЧР и при наличии АЧР.

9. Категории АЧР.

10. Проанализируйте схему АЧР: а) с двумя реле частоты; б) с одним реле частоты с переключением уставки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем: Учебник для вузов / Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. – 504 с.

2. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 199 с.

3. Козлов А.Н., Ротачева А.Г. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. Часть 1. Электромеханические реле защиты: Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2002. – 88 с.

4. Беляков Ю.П., Козлов А.Н., Мясоедов Ю.В. Релейная защита и автоматика электрических систем: Учебное пособие. – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2004. – 136 с.

5. Беркович М.А. и др. Основы автоматики энергосистем / М.А. Беркович, А.Н. Комаров, В.А. Семенов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 432 с.

6. Барзам А.Б. Системная автоматика. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 446 с.

7. Правила устройства электроустановок [Текст]: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 2-й выпуск (с изм. и доп., по состоянию на 1 ноября 2005 г.) – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2005. – 854 с.

8. Рубинчик В.А. Резервирование отключения коротких замыканий в электрических сетях. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 120 с.

СОДЕРЖАНИЕ

	Предисловие	**3**
	Введение	**5**
	Перечень тем лабораторных работ	**7**
	Критерии достижения результатов обучения по блоку практических дисциплин	**8**
1	Лабораторная работа № 1 Автоматическое повторное включение линии электропередачи с односторонним питанием	**9**
2	Лабораторная работа № 2 Автоматическое повторное включение линии электропередачи с двусторонним питанием	**24**
3	Лабораторная работа № 3 Автоматическое резервное включение секционного выключателя понизительной подстанции	**40**
4	Лабораторная работа № 4 Автоматическое ограничение снижения частоты в электрической системе отключениями нагрузки	**56**
	Библиографический список	**74**

Составитель:

Козлов Александр Николаевич,
доцент кафедры энергетики АмГУ, канд. техн. наук;

Автоматика электроэнергетических систем:
Методические указания к лабораторным работам.

Издательство АмГУ. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 5,35.