

10. АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

Введение

В данный раздел введены некоторые виды электроавтоматики, широко распространенные в электросетях. К ним относятся устройства автоматического повторного включения (АПВ), автоматического ввода резервного питания (АВР), автоматической частотной разгрузки (АЧР), автоматического повторного включения после работы АЧР (ЧАПВ), автоматики регулирования напряжения трансформаторов (АРНТ). Принцип работы устройств электроавтоматики, требования, предъявляемые к ним, и пути их реализации, для наглядности, а так же в связи с их широкой распространенностью в настоящее время, рассмотрены на примере схем, выполненных не электромеханических реле. Затем приведены принципы выполнения автоматики на современных микроэлектронных и микропроцессорных устройствах производства фирмы “Энергомашвин” и зарубежных фирм.

10.1 АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ (АПВ)

10.1.1 Назначение АПВ

Многолетний опыт эксплуатации линий электропередачи показал, что значительная часть коротких замыканий (КЗ), вызванных перекрытием изоляции, схлестыванием проводов и другими причинами, при достаточно быстром отключении линий релейной защитой, самоустраняется. При этом электрическая дуга, возникшая в месте КЗ, гаснет, не успев вызвать существенных разрушений, препятствующих повторному включению линий под напряжение. Такие самоустраняющиеся повреждения принято называть неустойчивыми.

Статистические данные о повреждаемости линий электропередачи за длительный период эксплуатации показывают, что доля неустойчивых повреждений весьма высока и составляет 50–90%.

Учитывая, что отыскание места повреждения на линии электропередачи путем ее обхода требует длительного времени, и что многие повреждения носят неустойчивый характер, обычно при ликвидации аварий оперативный персонал производит опробование линии путем включения ее под напряжение. Операцию включения под напряжение отключившейся линии называют повторным включением. Линия, на которой произошло неустойчивое повреждение, при повторном включении остается в работе. Поэтому, повторные включения при неустойчивых повреждениях принято называть успешными.

Реже на линиях возникают такие повреждения, как обрывы проводов, тросов или гирлянд изоляторов, падение или поломка опор и т. д. Такие повреждения не могут самоустраниться, и поэтому их называют устойчивыми. При повторном включении линии, на которой произошло устойчивое повреждение с коротким замыканием, линия вновь отключается защитой. Поэтому, повторные включения линий при устойчивых повреждениях называют неуспешными.

Повторное неавтоматическое включение линий на подстанциях с постоянным оперативным персоналом или на телеуправляемых объектах занимает несколько минут, а на подстанциях не телемеханизированных и без постоянного оперативного персонала 0,5–1 час и более. Поэтому, для ускорения повторного включения линий и уменьшения времени перерыва электроснабжения потребителей широко используются специальные устройства автоматического повторного включения (АПВ). Время действия АПВ обычно не превышает нескольких секунд. Поэтому, при успешном включении они быстро подают напряжение потребителям, чего не может обеспечить оперативный персонал.

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) обязательно применение АПВ – на всех воздушных и смешанных (кабельно-воздушных) линиях напряжением 1000 В и выше. Автоматическое повторное включение восстанавливает нормальную схему также и в тех случаях, когда отключение выключателя происходит вследствие ошибки персонала, или ложного действия релейной защиты.

Наиболее эффективно применение АПВ на линиях с односторонним питанием, так как в этих случаях каждое успешное действие АПВ восстанавливает питание потребителей и предотвращает аварию.

В кольцевых сетях отключение одной из линий не приводит к перерыву питания потребителей. Однако и в этом случае применение АПВ целесообразно, так как ускоряет ликвидацию ненормального режима и восстановление нормальной схемы сети, при которой обеспечивается наиболее надежная и экономичная работа.

Опыт эксплуатации показал, что неустойчивые КЗ часто бывают не только на воздушных линиях, но и на шинах подстанций. Поэтому на подстанциях, оборудованных быстродействующей защитой шин, также применяются АПВ, которые производят повторную подачу напряжения на шины в случае их отключения релейной защитой. Автоматическое повторное включение шин имеет высокую успешность и эффективность, поскольку каждый случай успешного действия предотвращает аварийное отключение целой подстанции, или ее части.

Устройствами АПВ оснащаются также все одиночно работающие трансформаторы мощностью 1000 кВА и выше, а так же трансформаторы меньшей мощности, питающие ответственную нагрузку. Автоматическое повторное включение трансформаторов выполняется так, что их действие происходит только при отключении трансформатора от максимальной токовой защиты. Повторное включение при повреждении самого трансформатора, когда он отключается защитами от внутренних повреждений, как правило, не производится. Успешность действия АПВ трансформаторов и шин так же высока, как у воздушных линий, и составляет 70–90%.

В ряде случаев АПВ успешно используются на кабельных и на смешанных кабельно-воздушных тупиковых линиях 6–10 кВ. При этом, несмотря на то, что повреждения кабелей бывают, как правило, ус-

тойчивыми, успешность действия АПВ составляет 40–60%. Это объясняется тем, что АПВ восстанавливает питание потребителей при неустойчивых повреждениях на шинах, при отключении линий вследствие перегрузки, при ложных и неселективных действиях защиты. Применение АПВ позволяет в ряде случаев упростить схемы релейной защиты и ускорить отключение КЗ в сетях высокого напряжения, что также является положительным качеством этого вида автоматики.

10.1.2 Классификация АПВ. Основные требования к схемам АПВ

В эксплуатации получили применение следующие виды АПВ:

- трехфазные, осуществляющие включение трех фаз выключателя после их отключения релейной защитой;
- однофазные, осуществляющие включение одной фазы выключателя, отключенной релейной защитой при однофазном КЗ;
- комбинированные, осуществляющие включение трех фаз (при междуфазных повреждениях) или одной фазы (при однофазных КЗ).

Трехфазные АПВ в свою очередь подразделяются на несколько типов: простые (ТАПВ), быстродействующие (БАПВ), с проверкой наличия напряжения (АПВНН), отсутствия напряжения (АПВОН), с ожиданием синхронизма (АПВОС), с улавливанием синхронизма (АПВУС) и др.

По виду оборудования, на которое действием АПВ повторно подается напряжение, различают: АПВ линий, АПВ шин, АПВ трансформаторов, АПВ двигателей.

По числу циклов (кратности действия) различают: АПВ однократного действия и АПВ многократного действия.

Устройства АПВ, которые осуществляются с помощью специальных релейных схем, называются электрическими, а встроенные в грузовые или пружинные приводы – механическими.

Схемы АПВ, применяемые на линиях и другом оборудовании, в зависимости от конкретных условий, могут существенно отличаться одна от другой. Однако все они должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Схемы АПВ должны приходить в действие при аварийном отключении выключателя (или выключателей), находившегося в работе. В некоторых случаях схемы АПВ должны отвечать дополнительным требованиям, при выполнении которых разрешается пуск АПВ: например, при наличии или, наоборот, при отсутствии напряжения, при наличии синхронизма, после восстановления частоты и т. д.
2. Схемы АПВ не должны приходить в действие при оперативном отключении выключателя персоналом, а также в случаях, когда выключатель отключается релейной защитой сразу же после его включения персоналом, т. е. при включении выключателя на КЗ, поскольку повреждения в таких случаях обычно бывают устойчивыми. В схемах АПВ должна также предусматриваться возможность запрета действия АПВ при срабатывании отдельных защит. Так, например, как правило, не допускается действие АПВ трансформаторов при внутренних повреждениях в них. В отдельных случаях не допускается действие АПВ линий при срабатывании дифференциальной защиты шин.
3. Схемы АПВ должны обеспечивать определенное количество повторных включений, т. е. действие с заданной кратностью. Наибольшее распространение получили АПВ однократного действия. Применяются также АПВ двукратного, а в некоторых случаях и трехкратного действия.
4. Время действия АПВ должно быть минимально возможным, для того чтобы обеспечить быструю подачу напряжения потребителям и восстановить нормальный режим работы. Наименьшая выдержка времени, с которой производится АПВ на линиях с односторонним питанием, принимается 0,3–0,5 сек. Вместе с тем, в некоторых случаях, когда наиболее вероятны повреждения, вызванные набросами и касаниями проводов, передвижными механизмами, целесообразно для повышения успешности АПВ принимать увеличенные выдержки времени.
5. Схемы АПВ должны автоматически обеспечивать готовность выключателя, на который действует АПВ, к новому действию после его включения.

10.1.3. Электрическое АПВ однократного действия

Для наглядности, рассмотрим работу устройства АПВ на примере простой схемы для выключателя 6–10кВ с пружинным приводом (например, ПП-67).

При подаче ключом управления КУ команды и включении выключателя, размыкаются блок-контакты В в цепи ЭВ и контакты готовности привода КГП, замыкаются контакты В и КГП в цепи заводки привода и в цепи ЭО, замыкаются блок-контакты БКА. После окончания заводки привода, контакты КГП разрывают цепь заводки и замыкаются в цепи включения - привод готов к АПВ. При отключении выключателя ключом управления КУ, механически отключаются блок-контакты БКА, и схема АПВ не запускается.

При аварийном отключении выключателя от защиты, контакты БКА остаются замкнутыми, замыкаются блок-контакты В в цепи ЭВ, и при введенной накладке Н1 «АПВ», по факту несоответствия положения выключателя и контактов БКА, запускается реле РВ выдержки времени АПВ. Включения выключателя при этом не происходит, так как сопротивление катушки ЭО значительно меньше, чем обмотки последовательно включенного с ней реле времени РВ, и практически все напряжение прикладывается к обмотке реле. С выдержкой времени АПВ, контакты РВ замыкаются, выкорачивая обмотку реле РВ, и замыкая цепь включения выключателя. При этом, выключатель включается, выпадает блинкер указа-

тельного реле РУ «Работа АПВ», реле РВ отпадает, замыкаются контакты В в цепях ЭО, а так же В и КГП в цепи заводки привода, размыкаются блок-контакты В и КГП в цепи ЭВ.

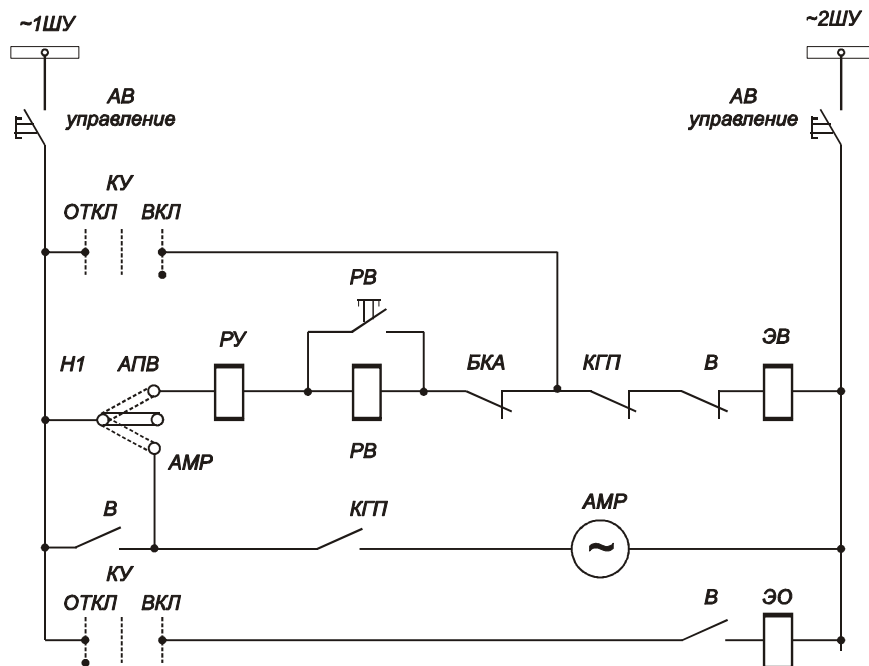


Рис. 10.1. Схема однократного АПВ выключателя с пружинным приводом
Обозначения на схеме:

В – блок-контакты положения выключателя;

БКА – блок-контакты аварийные, замыкаются при включении выключателя и размыкаются при оперативном отключении выключателя; при отключении от защиты, контакты остаются замкнутыми.

КГП – контакты готовности привода к включению, выключающие двигатель после заводки привода, и разрешающие операцию включения.

АМР – автоматический моторный редуктор заводки пружин привода;

КУ – ключ управления выключателем;

РВ – реле времени АПВ;

РУ – реле указательное «Работа АПВ»;

Н1 – накладка «АПВ-АМР»;

ЭВ и ЭО – электромагниты включения и отключения выключателя.

Положение контактов соответствует аварийно отключенному положению выключателя и заведенному положению привода (выключатель готов к включению).

При успешном АПВ, привод заводится (около 20 сек) и схема снова готова к работе. Если АПВ не успешное, или выключатель снова отключился от защиты до окончания заводки привода, схема АПВ больше не запускается. Так, за счет времени заводки привода, обеспечивается однократность АПВ.

Для включения выключателя после неуспешного АПВ, необходимо перевести накладку Н1 в положение «АМР» и завести привод до состояния готовности к включению, а затем ключом КУ подать команду на включение выключателя. Если выключатель включился успешно (ручное повторное включение – РПВ-успешное), накладка Н1 снова переводится в положение «АПВ», и после заводки привода, выключатель снова готов к АПВ.

Электрические АПВ однократного действия с автоматическим возвратом получили наиболее широкое распространение. Наиболее часто такие АПВ выполняются на базе комплектных устройств типа РПВ-58 (рис.10.2.). В этом реле однократность АПВ обеспечивается за счет конденсатора С, который заряжается только при включенном положении выключателя.

В рассматриваемой схеме дистанционное управление выключателем производится ключом управления КУ типа МКВФ, у которого предусмотрена фиксация положения последней операции. Поэтому после операции включения ключ остается в положении «Включено» (В₂), а после операции отключения – в положении «Отключено» (О₂). Когда выключатель включен и ключ управления находится в положении «Включено», к конденсатору С подводится плюс оперативного тока через контакты ключа, а минус через зарядный резистор R2. При этом конденсатор заряжен и схема АПВ находится в состоянии готовности к действию, как показано на рис. 10.2.

При включенном выключателе реле положения «Отключено» РПО, осуществляющее контроль исправности цепей включения, током не обтекает и его контакт в цепи пуска АПВ разомкнут.

Пуск АПВ происходит при отключении выключателя под действием релейной защиты в результате возникновения несоответствия между положением ключа, которое не изменилось, и положением выключателя, который теперь отключен. Несоответствие положений ключа управления и выключателя 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 *БКВ* переключился и замкнул цепь обмотки реле *РПО*, которое, срабатывая, подает минус на обмотку реле времени *РВ1*.

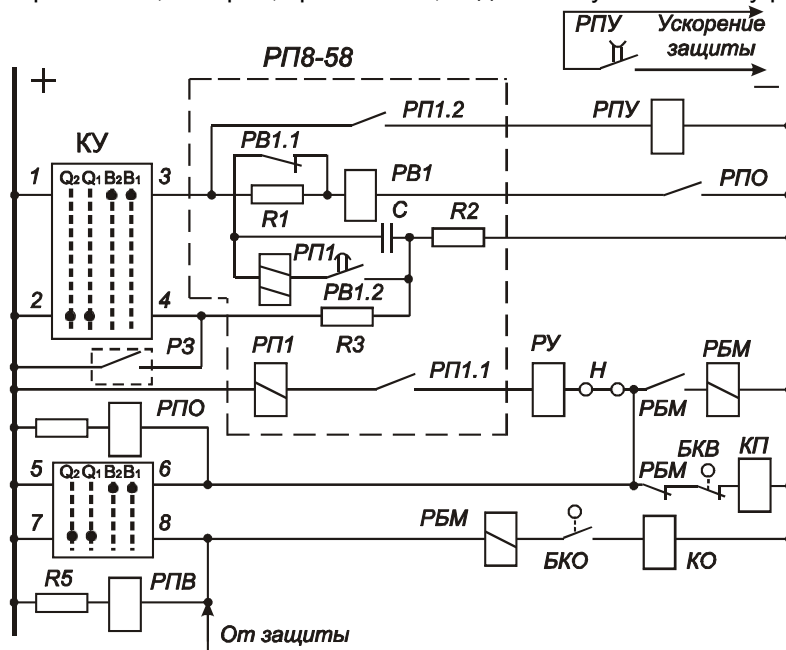


Рис. 10.2. Схема электрического АПВ однократного действия для линии с масляным выключателем
При срабатывании реле времени размыкается его мгновенный размыкающий контакт *РВ1.1*, вводя в цепь обмотки реле дополнительное сопротивление (резистор *R1*). Это приводит к уменьшению тока в обмотке реле, благодаря чему обеспечивается его термическая стойкость при длительном прохождении тока.

Спустя установленную выдержку реле времени замыкает замыкающий контакт *РВ1.2* и подключает параллельную обмотку реле *РП1* к конденсатору *С*. Реле *РП1* при этом срабатывает от тока разряда конденсатора и, самоудерживаясь через свою вторую обмотку, включенную последовательно с обмоткой контактора *КП*, подает импульс на включение выключателя. Благодаря использованию последовательной обмотки реле *РП1* обеспечивается необходимая длительность импульса для надежного включения выключателя, поскольку параллельная обмотка этого реле при разряде конденсатора обтекает током кратковременно. Выключатель включается, размыкается его вспомогательный контакт *БКВ* и реле *РПО*, *РП1* и *РВ1* возвращаются в исходное положение.

Если повреждение на линии было неустойчивым, то она остается в работе. После размыкания контакта реле времени конденсатор *С* начнет заряжаться через зарядный резистор *R2*. 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, то выключатель, включившись, снова отключится защитой, и вновь сработают реле *РПО* и *РВ1*. Реле *РП1*, однако, при этом второй раз работать не будет, так как конденсатор *С* был разряжен при первом действии АПВ и зарядиться еще не успел. Таким образом, рассмотренная схема обеспечивает однократное действие при устойчивом КЗ на линии.

При оперативном отключении выключателя ключом управления *КУ* несоответствия 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 работает только реле *РПО*, а реле *РВ1* и *РП1* не сработают. Одновременно со снятием оперативного тока контактами 1–3 *КУ* замыкаются контакты 2–4 и конденсатор *С* разряжается через сопротивление *R3*. При оперативном включении выключателя ключом управления готовность АПВ к действию наступает после заряда конденсатора *С* через 20–25 с.

При отключении линии защитой *РЗ*, когда действие АПВ не требуется, через резистор *R3* производится разряд конденсатора *С*.

Для предотвращения многократного включения выключателя на устойчивое КЗ, что могло бы иметь место в случае застревания контактов реле *РП1* в замкнутом состоянии, в схеме управления (рис. 10.2) устанавливается специальное промежуточное реле *РБМ* типа РП-232 с двумя обмотками: рабочей последовательной и удерживающей параллельной. Реле *РБМ* срабатывает при прохождении тока по катушке отключения выключателя и удерживается в сработавшем положении до снятия команды на включение. При этом цепь обмотки *КП* размыкается размыкающим контактом *РБМ*, предотвращая включение выключателя.

На телемеханизированных подстанциях для управления выключателями используются ключи управления без фиксации положения типа ПМОВ или МКВ, а для запоминания предыдущей команды управления предусматриваются специальные реле фиксации команды. Указанные выше ключи управления имеют три положения: «Включить», «Отключить» и «Нейтральное», причем после операций включения и отключения ключ самовозвращается в нейтральное положение.

В качестве реле фиксации используются двухпозиционные промежуточные реле типов РП8 и РП11, различающиеся количеством контактов. Схема включения обмоток и контактной системы реле РП11 приведена на рис. 10.3.

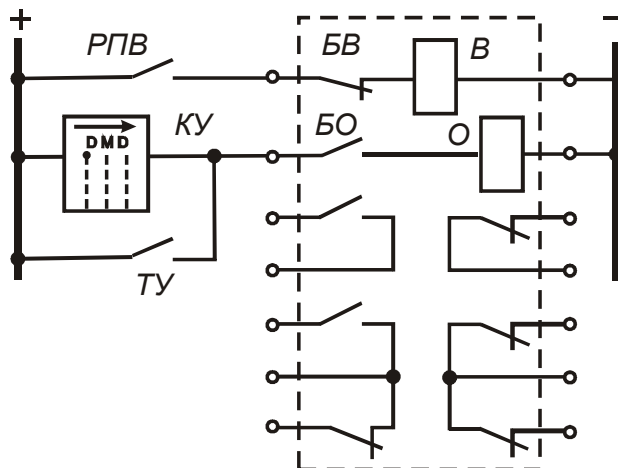


Рис. 10.3. Схема включения обмоток двухпозиционного промежуточного реле типа РП11

Промежуточное реле РП11 (РП8) имеет два электромагнита с обмотками В и О, между которыми расположен якорь, связанный с контактной системой. Когда ток в обмотках обоих электромагнитов отсутствует, якорь реле находится в правом или левом положении, в зависимости от того, в обмотку какого электромагнита был подан последний импульс тока. Последовательно с обмотками электромагнитов включены вспомогательные контакты этого реле БВ и БО, поэтому напряжение может быть подано только на обмотку того электромагнита, который подготовлен к действию. При подаче напряжения на эту обмотку якорь реле перекидывается и, переходя через нейтральное положение, переключает как блокировочные, так и основные контакты. Контакты этого реле заменяют контакты ключа 1-3 в схеме АПВ. Ключ и устройство телемеханики действует на катушку реле РП-11.

Взамен электромеханического реле РПВ-58 ЧЭАЗ (г.Чебоксары, Россия) выпускает микроэлектронное реле РПВ-01. Характеристики реле РПВ-01 существенно не отличаются от РПВ-58, но оно имеет меньшие габариты и вес.



При участии авторов разработано и серийно выпускается реле 2-х кратного АПВ типа АПВ2. Это реле также выполнено на интегральных микросхемах и может использоваться в тех же схемах, что и реле РПВ-58, 258, 01 производства ЧЭАЗ. Внешний вид и схема включения реле показана на рис. 10.5.

Схема внешних связей АПВ2 выполняется также, как и в реле РПВ-01 с тем отличием, что это реле не имеет входных промежуточных реле для управления логической схемой. Поэтому для управления используется внутренний источник питания (клемма 7), и управление должно выполняться «сухими» контактами. АПВ выполнено по схеме, аналогичной примененной в устройстве УЗА АТ (см. схему рис. 2.11 и описание п. 2.3.1). В выходных цепях отсутствует самоудерживание, как это принято в реле ЧЭАЗ, взамен этого выходные контакты АПВ задерживаются в сработавшем состоянии на время 0,25-0,4 сек, чего должно хватить для включения выключателя. Подготовка к АПВ начинается после включения выключателя и замыкания контакта БКВ (РПВ).

Современные микропроцессорные защиты, а также некоторые комплектные микроэлектронные устройства пускают АПВ непосредственно от тех защит, при действии которых должно работать АПВ. Это несколько упрощает схему, так как отсутствуют цепи запрета АПВ. Однако такая схема имеет недостаток,

закрывающийся в том, что АПВ не работает при самопроизвольном отключении выключателя, например при механическом расцеплении привода.

Выбор уставок однократных АПВ для линии с односторонним питанием

Выдержка времени АПВ на повторное включение выключателя определяется двумя условиями:

- 1) Выдержка времени должна быть больше времени готовности привода выключателя, т.е.

$$t_{1-АПВ} = t_{гн} + t_{зан} \quad (10.1)$$

где

$t_{гн}$ – время готовности привода, которое может изменяться в пределах 0,2÷1 сек для разных типов приводов;

$t_{зан}$ – время запаса, учитывающее непостоянство $t_{гн}$ и погрешность реле времени АПВ; принимается равной 0,3-0,5 сек.

- 2) Для того чтобы повторное включение было успешным, необходимо, чтобы за время от момента отключения линии до момента повторного включения и подачи напряжения не только погасла электрическая дуга в месте КЗ, но и восстановились изоляционные свойства воздуха. Процесс восстановления изоляционных свойств, называемый деионизацией, требует некоторого времени. Следовательно, выдержка времени АПВ на повторное включение должна быть больше времени деионизации, т.е.

$$t_{1-АПВ} = t_{д} + t_{зан} \quad (10.2)$$

где

$t_{д}$ – время деионизации, составляющее 0,1÷0,3 сек.

При выборе уставок принимается большее значение $t_{1-АПВ}$ из полученных по выражениям (10.1) и (10.2).

Следует отметить, что второе условие, как правило, обеспечивается тем, что время включения выключателей составляет 0,3÷1 сек, т.е. больше времени, необходимого для деионизации. В некоторых случаях выдержки времени принимаются больше определенных по выражениям (10.1) и (10.2), около 2÷3 сек, что бывает целесообразно для повышения успешности действия АПВ на линиях, где наиболее часты повреждения вследствие набросов, падений деревьев и касаний проводов передвижными механизмами. Время автоматического возврата АПВ в исходное положение выбирается из условия обеспечения однократности действия. Для этого при повторном включении на устойчивое КЗ, возврат АПВ в исходное положение должен происходить только после того, как выключатель, повторно включенный от АПВ, вновь отключится релейной защитой, причем имеющей наибольшую выдержку времени.

В рассмотренных выше схемах АПВ с использованием комплектных устройств типа РПВ-58, в которых время готовности реле АПВ к срабатыванию определяется временем заряда конденсатора, оно должно быть не меньше значения, определенного согласно выражению:

$$t_{2-АПВ} = t_{защ} + t_{отк} + t_{зан} \quad (10.3)$$

где

$t_{защ}$ – наибольшая выдержка времени защиты;

$t_{отк}$ – время отключения выключателя.

Обычно время заряда конденсатора устройства РПВ-58 составляет 20–25 сек и, как правило, удовлетворяет выражению (10.3), микропроцессорные и микроэлектронные реле, в которых имеется функция АПВ, имеют обычно регулируемое время готовности. Уставка по времени готовности может быть принята такой же – 30 сек. При работе линии в зоне, где могут быть частые случаи коротких замыканий: сильный ветер, гололед – это время целесообразно увеличить до 60–90 сек. Это позволит спасти от повреждения выключатель с ограниченным ресурсом отключения от выхода из строя при многократных КЗ.

10.1.3. Ускорение действия защиты при АПВ

Ускорение защиты после АПВ

Для быстрого отключения КЗ, повышения надежности работы энергосистемы и потребителей применяется автоматическое ускорение действия защиты при АПВ.

Ускорение защиты после АПВ предусматривается директивными материалами не только для линий, не имеющих быстродействующей защиты, но также для линий, имеющих сложные быстродействующие защиты, как мера повышения надежности защиты линии в целом.



Схема, приведенная на рис. 10.7, обеспечивает ускорение защиты при любом включении выключателя – как от АПВ, так и от ключа управления, что является преимуществом такой схемы.

Ускорение защиты до АПВ позволяет ускорить отключение КЗ и обеспечить селективную ликвидацию повреждений. В сети, приведенной на рис. 10.8, максимальная токовая защита *МТЗ1*, установленная на линии Л1, по условию селективности должна иметь выдержку времени больше, чем максимальные токовые защиты *МТЗ2* и *МТЗ3* линий Л2 и Л3. Отключение КЗ с выдержкой времени приводит к нарушению работы потребителей из-за длительного воздействия пониженного напряжения и значительно снижает успешность действия АПВ.



При КЗ на линии Л2 происходит неселективное отключение линии Л1 защитой МТЗ1 по цепи ускорения без выдержки времени. Затем линия Л1 действием АПВ включается обратно. Если повреждение на линии Л2 оказалось устойчивым, то эта линия отключается своей защитой МТЗ2, а линия Л1 остается в работе, так как после АПВ защита МТЗ1 действует с нормальной селективной выдержкой времени.

В схеме на рис. 10.6, б цепь ускорения будет замкнута до АПВ и будет размыкаться при действии АПВ на включение выключателя. Реле РПУ при этом будет удерживаться в сработавшем положении до тех пор, пока не будет отключено КЗ и разомкнутся контакты реле защиты.

Еще более эффективным является применение поочередного АПВ. При таком принципе выполнения защиты, реле ускорения, непосредственно после включения выключателя остается подтянутым и обеспечивает ускорение защиты и после включения выключателя от АПВ. Затем ускорение выводится. АПВ последующего участка имеет выдержку большую, чем время АПВ и время, в течение которого вводится ускорение на предыдущем.

$$t_{APB3} = t_{APB2} + t_{pnv} + t_3$$

$$t_{BBpny} = t_{APB3} + t_{pny} + t_3$$

Неуспешное КЗ на ЛЗ:

- 1) работают ускоренные МТ31, МТ32, МТ33 и отключают свои выключатели;
- 2) включается от АПВ и с введенным ускорением МТ31 В1;
- 3) поскольку КЗ нет, выключатель В1 остается включенным, а ускорение МТ31 выводится;
- 4) включается от АПВ и с введенным ускорением МТ32 В2;
- 5) поскольку КЗ нет, выключатель В2 остается включенным, а ускорение МТ32 выводится;
- 6) включается от АПВ и со введенным ускорением МТ33 В3;
- 7) возникшее КЗ отключается ускоренной защитой МТ33;
- 8) вводится обратно ускорение защиты МТ31 и МТ32.

- 1) работают ускоренные МТ31, МТ32 и отключают свои выключатели;
- 2) включается от АПВ и с введенным ускорением МТ31 В1;
- 3) поскольку КЗ нет, выключатель В1 остается включенным, а ускорение МТ31 выводится;
- 4) включается от АПВ и с введенным ускорением МТ32 В2;
- 5) возникшее КЗ отключается ускоренной защитой МТ32;
- 6) вводится обратно ускорение защиты МТ31.

- 1) Работает ускоренная МТЗ1, и отключает В1;
- 2) включается от АПВ и со введенным ускорением МТЗ1 В1;
- 3) возникшее КЗ отключается ускоренной защитой МТЗ1.

Для выполнения такой схемы достаточно добавить в схему 10.7 реле времени, см. рис. 10.9.



Применение двукратного АПВ позволяет повысить эффективность этого вида автоматики. Как показывает опыт эксплуатации, успешность действия при втором включении составляет 10-20%, что повышает общий процент успешных действий АПВ до 75–95%. Двукратное АПВ применяют, как правило, на линиях с односторонним питанием и на головных участках кольцевых сетей, где возможна работа в режиме одностороннего питания. АПВ двукратного действия с комплектным устройством типа РПВ–258, в отличие от устройства РПВ–58, рассмотренного выше, содержит два конденсатора $C1$ и $C2$ и реле времени $PB1$ с двумя контактами, замыкающимися с разными выдержками времени соответствующими уставкам по времени АПВ 1 и 2 кратности.

Выдержка времени первого цикла АПВ определяется согласно выражениям (10.1) и (10.2) так же, как и для АПВ однократного действия. Второй цикл должен происходить спустя 10÷20 сек после вторичного отключения выключателя. Такая большая выдержка времени АПВ во втором цикле диктуется необходимостью подготовки выключателя к отключению третьего КЗ в случае включения на устойчивое повреждение. За это время из камеры гашения удаляются разложившиеся и обугленные частицы. Камера вновь заполняется маслом и отключающая способность выключателя восстанавливается. Для того чтобы предотвратить многократное действие АПВ, время заряда конденсаторов С1 и С2 (время готовности должно превышать выдержки времени обоих циклов АПВ. В заводском комплекте АПВ типа РПВ–258, время готовности к последующим действиям после второго цикла составляет 60÷100 сек.

Двукратное АПВ можно выполнить с помощью реле РПВ2 выпускаемого фирмой «Энергомашвин».

10.1.4 Трехфазное АПВ на линиях с двусторонним питанием

Общие сведения

Автоматическое повторное включение линий с двусторонним питанием имеет некоторые особенности, что определяется наличием напряжения по обоим концам линии. Первая особенность состоит в том, что АПВ линии должно производиться лишь после того, как она будет отключена с обеих сторон, что необходимо для деионизации воздушного промежутка в месте повреждения. Поэтому при выборе выдержки времени АПВ линии с двусторонним питанием необходимо кроме условий (10.1) и (10.2) учитывать еще и третье условие

$$t_{АПВ1} = t_{ЗАЩ2} - t_{ЗАЩ1} + t_{ОТК2} - t_{ОТК1} + t_{\delta} - t_{ВКЛ1} + t_{ЗАП} \quad (10.4)$$

где

$t_{ЗАЩ1}, t_{ОТК1}, t_{ВКЛ1}$ — наименьшие выдержка времени защиты, время отключения и включения выключателя на своем конце (индекс 1) линии, на котором выбирается выдержка времени АПВ;

$t_{ЗАЩ2}, t_{ОТК2}$ — выдержка времени второй ступени защиты и время отключения выключателя на противоположном конце (индекс 2) линии;

t_{δ} — время деионизации среды;

$t_{ЗАП}$ — дополнительный запас по времени, учитывающий погрешности реле времени устройства АПВ и защиты, отличия времен действия выключателей от расчетных и т. д., принимается равным 0,5÷0,7 сек.

Принимая с целью упрощения $t_{ОТК2} = t_{ОТК1}$ и $t_{ЗАЩ1} = 0$, получаем более простое выражение для определения выдержки времени АПВ:

$$t_{АПВ1} = t_{ЗАЩ2} + t_{\delta} - t_{ВКЛ1} + t_{ЗАП} \quad (10.5)$$

Если вторая ступень защиты не обеспечивает достаточной надежности при повреждениях в конце рассматриваемой линии (коэффициент чувствительности $\leq 1,3 \div 1,4$), в выражения (10.4) и (10.5) необходимо подставлять выдержку времени третьей ступени защиты.

Выдержка времени АПВ для обоих концов линии подсчитывается по выражениям (10.1), (10.2), (10.4) [или (10.5)], и принимается наибольшее из трех полученных значений.

Вторая особенность применения АПВ на линиях с двусторонним питанием определяется тем, что успешное включение линии (замыкание в транзит) может сопровождаться большими толчками тока и активной мощности, поскольку по обоим концам отключившейся линии имеется напряжение.

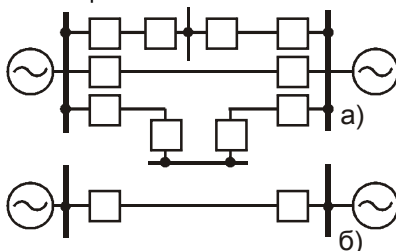


Рис. 10.10 Схема связи между двумя частями энергосистемы:

а) — с тремя линиями;

б) — с одной линией

В тех случаях, когда две электростанции или две части энергосистемы связаны несколькими линиями (рис. 10.10, а), отключение одной из них не приводит к нарушению синхронизма и значительному расхождению по углу и значению напряжений по концам отключившейся линии. Автоматическое повторное включение в этом случае не будет сопровождаться большим толчком уравнивающего тока. Вследствие этого, на линиях с двусторонним питанием допускается применение простых АПВ, аналогичных рассмотренным выше, если две электростанции, или две энергосистемы, имеют три или более связей достаточной для обеспечения устойчивости пропускной способности.

В некоторых случаях простое АПВ, установленное с одного конца, дополняется устройством контроля наличия напряжения на линии. Благодаря этому включение от АПВ на устойчивое КЗ производится

только 1 раз с той стороны, где отсутствует устройство контроля напряжения на линии. С той же стороны, где контролируется напряжение, включение выключателя будет происходить лишь в том случае, если повреждение устранилось и линия, включенная с противоположного конца, держит напряжение. Поскольку действием АПВ с контролем наличия напряжения линия, стоящая под напряжением с противоположного конца, замыкается в транзит, при выборе выдержки времени $t_{АПВ1}$ можно не учитывать составляющие $(t_0 - t_{ВКЛ1})$ и условия (10.4) и (10.5) приобретают следующий вид:

$$t_{АПВ1} = t_{ЗАЩ2} - t_{ЗАЩ1} + t_{ОТК2} - t_{ОТК1} + t_{ЗАП} \quad (10.4a)$$

$$t_{АПВ1} = t_{ЗАЩ2} + t_{ЗАП} \quad (10.5a)$$

При включении действием АПВ линии с двусторонним питанием, когда синхронизм между двумя частями энергосистемы не был нарушен, могут возникать синхронные качания, вызванные толчком активной мощности в момент включения. Синхронными качаниями называются периодические колебания угла между ЭДС, не превышающие 180° . Обычно синхронные качания не сопровождаются большими колебаниями угла и быстро затухают.

Если две электростанции или две части энергосистемы связаны единственной линией электропередачи, как показано на рис. 10.10, б, по которой передается активная мощность, каждое отключение этой линии будет приводить к несинхронной работе разделившихся частей энергосистемы.

Для линий с двусторонним питанием разработано и эксплуатируется большое количество ТАПВ разных типов, которые можно объединить в три группы:

- устройства, допускающие несинхронное включение разделившихся частей энергосистемы, – несинхронное АПВ (НАПВ);
- устройства, допускающие АПВ, когда напряжения по концам отключившейся линии синхронны – АПВ с контролем синхронизма (АПВКС) или когда разность частот этих напряжений невелика, т. е. условия близки к синхронным, – быстродействующее АПВ (БАПВ), АПВ с улавливанием синхронизма (АПВУС) и др.;
- устройства, осуществляющие АПВ после отключения источников несинхронного напряжения или их возбуждения (генераторов или синхронных компенсаторов), с последующей их синхронизацией – АПВ с самосинхронизацией (АПВС). Если источники несинхронного напряжения отключаются с их остановом, выполняется АПВ с контролем отсутствия напряжения (АПВОН)

Несинхронное АПВ

Несинхронное АПВ (НАПВ) является наиболее простым устройством, допускающим включение разделившихся частей энергосистемы независимо от разности частот их напряжений. Схема АПВ при этом выполняется так, как описано выше, без каких-либо дополнительных блокировок. Для предотвращения включения на устойчивое КЗ с обоих концов линии, а также для обеспечения при НАПВ правильной работы релейной защиты АПВ с одного конца линии иногда выполняется с контролем наличия напряжения на линии.

Включение линии при успешном НАПВ сопровождается сравнительно большими толчками тока и активной мощности, а также более или менее длительными качаниями.

Преимуществами схем НАПВ, обусловившими на определенном этапе их широкое распространение в энергосистемах, являются простота и возможность применения на выключателях всех типов. Обычно после НАПВ происходит успешная синхронизация двух частей энергосистемы, или электростанции с энергосистемой. Вместе с тем следует иметь в виду, что, поскольку НАПВ сопровождается большими толчками тока и снижением напряжения, асинхронным ходом и синхронными качаниями, создаются условия для неправильной работы релейной защиты. Поэтому необходимо тщательно анализировать поведение защит, установленных на транзите, соединяющем две включаемые части энергосистемы. Применение НАПВ на линиях, несинхронное замыкание которых приводит к длительному асинхронному ходу, нецелесообразно, так как это может вызвать нарушение работы потребителей.

Быстродействующее АПВ

Как уже отмечалось выше, после отключения единственной линии, соединяющей две части энергосистемы, генераторы в одной из них начинают ускоряться, а в другой тормозиться. Вследствие этого все больше увеличивается угол между напряжениями по концам отключившейся линии. Процесс этот, однако, происходит не мгновенно, а в течение некоторого времени, тем большего, чем больше механическая инерция машин в разделившихся частях энергосистемы и чем меньше мощность, передававшаяся по линии до ее отключения.

Принцип быстродействующего АПВ (БАПВ) заключается в том, чтобы после отключения выключателей возможно быстрее повторно включить их с обеих сторон, чтобы за время, называемое бестоковой паузой, угол между напряжениями не успел увеличиться значительно. Включение линии при этом будет происходить без больших толчков тока и длительных качаний.

БАПВ применяется только на выключателях, которые обеспечивают необходимое быстродействие. Для того чтобы БАПВ было успешным, должны быть соблюдены условия (10.2) и (10.4). Поскольку время включения быстродействующих выключателей составляет 0,1–0,3 сек, деионизация среды будет обеспечена при выполнении БАПВ без выдержки времени или с небольшой выдержкой времени 0,1–0,3 сек.

Успешное БАПВ возможно лишь в том случае, если КЗ отключается за 0,1–0,2 сек. Чем с большей выдержкой времени отключается повреждение, тем на больший угол успеют разойтись ЭДС. Поэтому БАПВ применяется только в тех случаях, когда линия оснащена быстродействующей защитой, обеспечивающей отключение повреждения без выдержки времени с обоих ее концов.

Достоинствами БАПВ являются простота схемы и высокая эффективность действия, что обеспечивает восстановление параллельной работы без длительных качаний и с меньшими толчками тока, чем при НАПВ.

При использовании БАПВ, так же как и при НАПВ, необходимо принимать меры, исключающие ложное срабатывание дистанционных и токовых защит в момент включения, а также при последующих качаниях.

Наиболее целесообразно применять БАПВ на одиночных линиях, связывающих две энергосистемы, когда изменение угла δ невелико, что будет иметь место при малых отношениях мощности P_n , передаваемой по линии, к суммарной мощности генераторов энергосистемы, т.е. на слабо загруженных линиях.

Разновидностью БАПВ, широко применяемой в энергосистемах Украины, является, так называемое, ускоренное ТАПВ (УТАПВ). От обычного БАПВ, УТАПВ отличается наличием контролей напряжения – со стороны включаемой первой – контроля отсутствия напряжения, а со второй – синхронизма. Как и в случае применения БАПВ, линия должна быть оснащена быстродействующей защитой, обеспечивающей отключение повреждения без выдержки времени с обоих ее концов. Выдержки времени АПВ остаются такими же, как и в случае БАПВ, однако время бестоковой паузы увеличиваются, так как АПВ со второго конца пускается после успешного включения с первого. При использовании такого АПВ бестоковая пауза равна примерно 0,7 сек. Включение линии в этом случае происходит без толчка и не требуется блокировка защиты перед включением.

Автоматическое повторное включение с ожиданием синхронизма

Принцип действий АПВ с ожиданием синхронизма (АПВОС) заключается в том, что включение разделившихся частей энергосистемы разрешается, когда напряжения по концам отключившейся линии синхронны или близки к синхронным, а угол между напряжениями не превышает определенного значения. Когда напряжения по концам отключившейся линии синхронны, АПВОС контролирует угол между ними и осуществляет включение линии, если угол невелик и включение не будет сопровождаться большим толчком тока.

Когда напряжения несинхронны, АПВОС осуществляет замыкание линии в транзит в момент совпадения фаз, если разность частот невелика и включение не будет сопровождаться большим толчком тока и длительными качаниями.

Если напряжения по концам линии будут несинхронными и разность частот недопустимо велика, схема АПВОС будет ожидать, пока не восстановится синхронизм между разделившимися частями энергосистемы или когда разность частот будет столь незначительная, что замыкание линии в транзит не повлечет за собой, асинхронного хода и не будет сопровождаться большим толчком тока.

В данном случае линия включается с одной стороны с контролем отсутствия напряжения, а с другой стороны контроль синхронизма, дополненный контролем разности частот с 2-х сторон выключателя. Если в данный момент разность частот велика, то АПВОС ожидает, пока сблизятся частоты, после чего в момент приближения к синхронизму произойдет включение выключателя.

В рассматриваемой схеме предусмотрено также использование АПВОС для оперативного замыкания транзита при наличии синхронизма. Для этого установлены специальные накладки. При необходимости осуществить синхронизацию, отключением накладки снимается блокировка АПВ после перевода ключа управления в положение «Включено». При подаче импульса от ключа управления собираются цепи АПВ, которое срабатывая при условиях, допустимых для замыкания транзита, подает импульс на включение выключателя.

10.1.5 Автоматическое повторное включение шин

Выше уже говорилось о неустойчивости большинства повреждений на шинах, что позволяет успешно применять АПВ шин. Для подстанций с односторонним питанием, отключение повреждений на шинах которых обеспечивается защитами, установленными на противоположных концах питающих линий, или на трансформаторах, повторная подача напряжения на шины обеспечивается за счет действия устройств АПВ питающих элементов (линий и трансформаторов).

При наличии на подстанции специальной защиты шин (обычно шины подстанций высокого напряжения в сетях с двусторонним питанием) повторное включение шин, так же как и в схемах с односторонним питанием, может быть осуществлено с помощью АПВ выключателей питающих присоединений. Схема АПВ при этом выполняется с пуском от несоответствия положения выключателя и ключа управления (реле фиксации). В этом случае при срабатывании защиты шин не должно осуществляться блокирование действия АПВ линии. Если АПВ присоединения пускается от защит, то защита шин должна пускать АПВ этого присоединения.

При наличии на подстанции не одной, а нескольких питающих линий целесообразно осуществлять АПВ нескольких или всех линий, отключившихся при срабатывании защиты шин. Это следует делать как для большей автоматизации восстановления, нормальной схемы подстанции (автосборка), так и для обеспечения питания потребителей, когда одна питающая линия не может обеспечить всей нагрузки

подстанции. С этой целью при срабатывании защиты шин запускаются АПВ всех питающих линий. В случае успешного АПВ первой линии, поочередно включаются выключатели других линий. Если первая линия включится на устойчивое КЗ, снова сработает защита шин. При этом блокируется действие АПВ других линий, и их выключатели не включаются, благодаря чему обеспечивается однократность АПВ шин.

10.2 АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВВОД РЕЗЕРВА (АВР)

10.2.1 Назначение АВР

Схемы электрических соединений энергосистем и отдельных электроустановок должны обеспечивать надежность электроснабжения потребителей. Высокую степень надежности обеспечивают схемы питания одновременно от двух и более источников (линий, трансформаторов), поскольку аварийное отключение одного из них не приводит к нарушению питания потребителей.

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

Применение такой менее надежной, но более простой схемы электроснабжения во многих случаях оказывается целесообразным для снижения токов КЗ, уменьшения потерь электроэнергии в питающих трансформаторах, упрощения релейной защиты, создания необходимого режима по напряжению, перетокам мощности и т. п. При развитии электрической сети одностороннее питание часто является единственно возможным решением, так как ранее установленное оборудование и релейная защита не позволяют осуществить параллельную работу источников питания.

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. 10.9, а, б). Во второй схеме все источники включены, но работают раздельно на выделенных потребителях. Деление осуществляется на одном из выключателей (рис. 10.9, в, г).

Недостатком одностороннего питания является то, что аварийное отключение рабочего источника приводит к прекращению питания потребителей. Этот недостаток может быть устранен быстрым автоматическим включением резервного источника или включением выключателя, на котором осуществлено деление сети. Для выполнения этой операции широко используется автоматическое включение резерва (АВР). При наличии АВР время перерыва питания потребителей в большинстве случаев определяется лишь временем включения выключателей резервного источника и составляет 0,3–0,8 сек. Рассмотрим принципы использования АВР на примере схем, приведенных на рис. 10.9..

1. Питание подстанции А (рис. 10.9, а) осуществляется по рабочей линии Л1 от подстанции Б. Вторая линия Л2, приходящая с подстанции В, является резервной и находится под напряжением (выключатель В3 нормально отключен). При отключении линии Л1 автоматически от АВР включается выключатель В3 линии Л2, и таким образом вновь подается питание потребителям подстанции А.

Схемы АВР могут иметь одностороннее или двустороннее действие. При одностороннем АВР линия Л1 всегда должна быть рабочей, а линия Л2 – 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. 10.11, б). При отключении рабочего трансформатора автоматически от АВР включаются выключатель В5 и один из выключателей В6 (при отключении Т1) или В7 (при отключении Т2) резервного трансформатора Т3.

3. Трансформаторы Т1 и Т2 являются рабочими, но параллельно работать не могут и поэтому со стороны низшего напряжения включены на разные системы шин (рис. 10.11, в). Шиносоединительный выключатель В5 нормально отключен. При аварийном отключении любого из рабочих трансформаторов автоматически от АВР включается выключатель В5, подключая нагрузку шин, потерявших питание, к оставшемуся в работе трансформатору. Каждый трансформатор в рассматриваемом случае должен иметь мощность, достаточную для питания всей нагрузки подстанции. В случае, если мощность одного трансформатора недостаточна для питания всей нагрузки подстанции, при действии АВР должны приниматься меры для отключения части наименее ответственной нагрузки.

4. Подстанции В и Г (рис. 10.11, г) нормально питаются радиально от подстанций А и Б соответственно. Линия Л3 находится под напряжением со стороны подстанции В, а выключатель В5 нормально отключен. При аварийном отключении линии Л2 устройство АВР, установленное на подстанции Г, включает выключатель В5, таким образом питание подстанции Г переводится на подстанцию В по линии Л3. При отключении линии Л1 подстанция В и вместе с ней линия Л3 остаются без напряжения. Исчезновение напряжения на трансформаторе напряжения ТН также приводит в действие устройство АВР на подстанции Г, которое включением выключателя В5 подает напряжение на подстанцию В от подстанции Г.

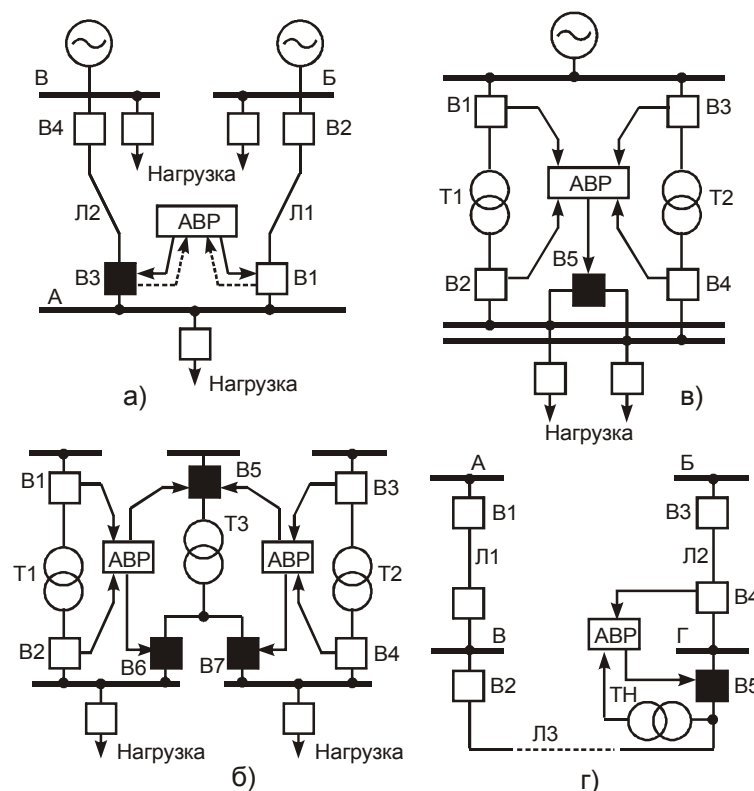


Рис. 10.11 Принципы осуществления АВР при разных схемах питания потребителей

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

10.2.2 Основные требования к схемам АВР

Все устройства АВР должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Схема АВР должна приходить в действие в случае исчезновения напряжения на шинах потребителей 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 питания иногда допускается также при КЗ на шинах потребителя. Однако очень часто схема АВР блокируется, например, при работе дуговой защиты в комплектных распределительных устройствах. При отключении от максимальной защиты трансформаторов питающих шин НН, работе АВР, предпочтительна работа АПВ. Поэтому на стороне НН (СН) понижающих трансформаторов подстанций принимается комбинация АПВ-АВР. При отключении трансформатора его защитой от внутренних повреждений, работает АВР, а при отключении ввода его защитой – АПВ. Такое распределение предотвращает посадку напряжения, а иногда и повреждение секции, от которой осуществляется резервирование.
2. Для того чтобы уменьшить длительность перерыва питания потребителей, включение резервного источника питания должно производиться возможно быстрее, сразу же после отключения рабочего источника.
3. Действие АВР должно быть однократным для того, чтобы не допускать нескольких включений резервного источника на неустранившееся КЗ.
4. Схема АВР не должна приходить в действие до отключения выключателя рабочего источника для того, чтобы избежать включения резервного источника на КЗ в неотключившемся рабочем источнике. Выполнение этого требования исключает также возможное 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 питания при его включении на неустранившееся КЗ должно предусматриваться ускорение действия защиты резервного источника после АВР. Это особенно важно в тех случаях, когда потребители, потерявшие питание, подключаются к другому источнику, несущему нагрузку. Быстрое отключение КЗ при этом необходимо, чтобы предотвратить нарушение нормальной работы потребителей, подключенных к резервному источнику питания. Ускоренная защита обычно действует по цепи ускорения без выдержки времени. В установках же собственных нужд, а также на подстанциях, питающих большое количество электродвигателей, ускорение осуществляется до 0.3-0,5 сек. 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° .

10.2.3 Принципы действия АВР

Рассмотрим принцип действия АВР на примере двухтрансформаторной подстанции, приведенной на рис. 10.12. Питание потребителей нормально осуществляется от рабочего трансформатора $T1$, Резервный трансформатор $T2$ отключен и находится в автоматическом резерве.

При отключении по любой причине выключателя $B1$ трансформатора $T1$ его вспомогательный контакт $BK1-2$ разрывает цепь обмотки промежуточного реле $РП1$. В результате якорь реле $РП1$, подтянутый при включенном положении выключателя, при снятии напряжения отпадает с некоторой выдержкой времени и размыкает контакты.

Второй вспомогательный контакт $BK1.3$ выключателя $B1$ замкнувшись, подает плюс через еще замкнутый контакт $РП1.1$ на обмотку промежуточного реле $РП2$, которое своими контактами производит включение выключателей $B3$ и $B4$ резервного трансформатора, воздействуя на контакторы включения $KB3$ и $KB4$. По истечении установленной выдержки времени реле $РП1$ размыкает контакты и разрывает цепь обмотки промежуточного реле $РП2$. Если резервный трансформатор будет включен действием АВР на неустранившееся КЗ, и отключится релейной защитой, то его повторного включения не произойдет. Таким образом, реле $РП1$ обеспечивает однократность действия АВР и поэтому называется реле однократности включения. Реле $РП1$ вновь замкнет свои контакты и подготовит схему АВР к новому действию лишь после того, как будет восстановлена нормальная схема питания подстанции и включен выключатель $B1$. Выдержка времени на размыкание контакта реле $РП1$ должна быть больше времени включения выключателей $B3$ и $B4$, для того чтобы они успели надежно включиться.

С целью обеспечения действия АВР при отключении выключателя $B2$ от его вспомогательного контакта $BK2.2$ подается импульс на катушку отключения $K01$ выключателя $B1$. После отключения выключателя $B1$ АВР запускается и действует, как рассмотрено выше. Кроме рассмотренных случаев отключения рабочего трансформатора потребители также потеряют питание, если по какой-либо причине останутся без напряжения шины высшего напряжения подстанции B . Схема АВР при этом не подействует, так как оба выключателя рабочего трансформатора остались включенными.

Для того чтобы обеспечить действие АВР и в этом случае, предусмотрен специальный пусковой орган минимального напряжения, включающий в себя реле $РН1$, $РН2$, $РВ1$ и $РП3$. При исчезновении напряжения на шинах 5 , а следовательно, и на шинах B подстанции реле минимального напряжения, подключенные к трансформатору напряжения $ТН1$, замкнут свои контакты и подадут плюс оперативного тока на обмотку реле времени $РВ1$ через контакт реле $РН3$. Реле $РВ1$ при этом запустится и по истечении установленной выдержки времени подаст плюс на обмотку выходного промежуточного реле $РП3$, которое производит отключение выключателей $B1$ и $B2$ рабочего трансформатора. После отключения выключателя $B1$, АВР действует, как рассмотрено выше.

Реле напряжения $РН3$ предусмотрено для того, чтобы предотвратить отключение трансформатора $T1$ от пускового органа минимального напряжения в случае отсутствия на шинах высшего напряжения A резервного трансформатора $T2$, когда действие АВР будет заведомо бесполезным. Реле напряжения $РН3$, подключенное к трансформатору напряжения $ТН2$ шин A , при отсутствии напряжения размыкает свой контакт и разрывает цепь от контактов реле $РН1$ и $РН2$ к обмотке реле времени $РВ1$.

В схеме АВР предусмотрены две накладки: $H1$ – для отключения пускового органа минимального напряжения и $H2$ — для вывода из работы всей схемы АВР. Действие АВР и пускового органа минимального напряжения сигнализируется указательными реле РУ.

Пусковые органы минимального напряжения

Пусковые органы минимального напряжения должны выполняться таким образом, чтобы они действовали только при исчезновении напряжения и не действовали при неисправностях в цепях напряжения. Так, в рассмотренной схеме на рис. 10.12 и в схеме на рис. 10.13 контакты двух реле минимального напряжения $РН1$ и $РН2$ включены последовательно, что предотвращает отключение рабочего трансформатора $T1$ при отключении одного из автоматических выключателей (предохранителей) в цепях напряжения. Однако ложное отключение трансформатора все же может произойти, если повредится трансформатор напряжения $ТН1$ или отключатся оба автоматических выключателя в цепях напряжения. Для повышения надежности используются два реле минимального напряжения, включенные на разные трансформаторы напряжения.

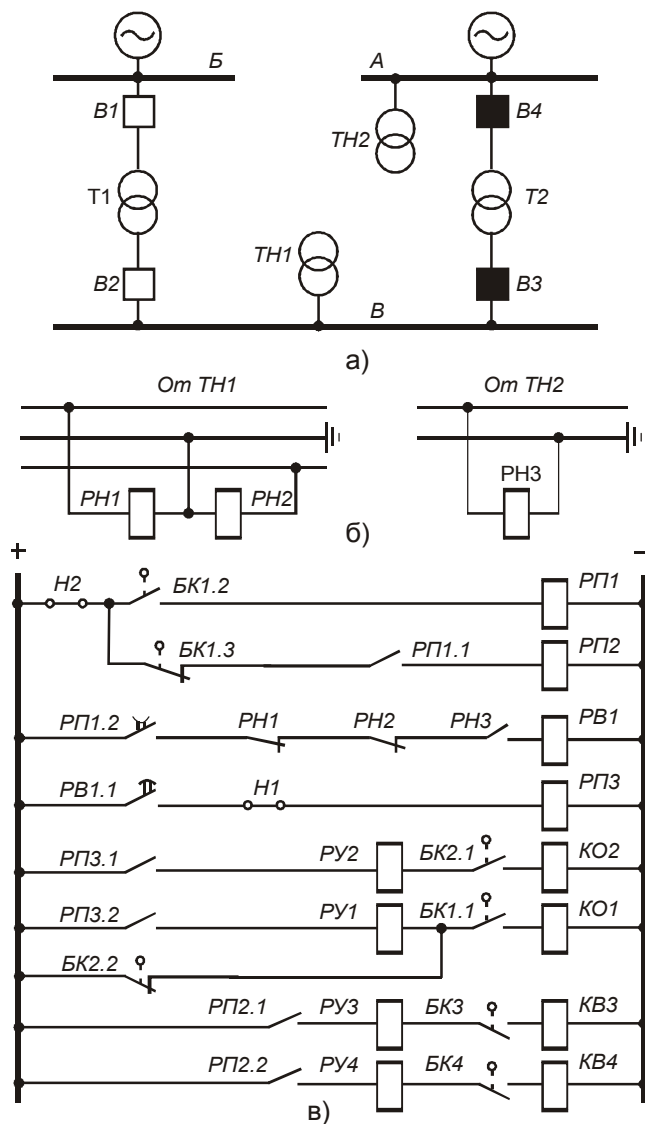


Рис. 10.12. Схема АВР трансформатора одностороннего действия:

- а) схема первичных соединений;
- б) цепи переменного напряжения;
- в) цепи оперативного тока

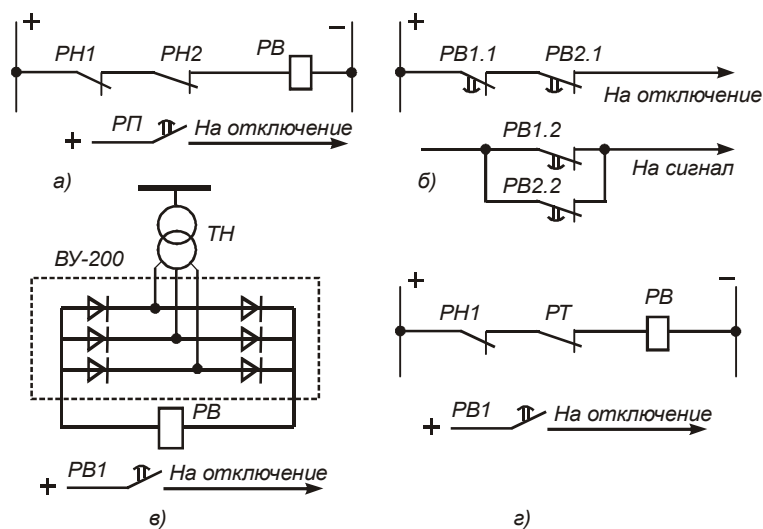


Рис. 10.13 Принципы выполнения пусковых органов АВР:

- а, б, в – минимального напряжения;
- г – минимального тока и напряжения

Рассмотренные схемы пусковых органов минимального напряжения могут быть выполнены также с помощью двух реле времени (типа РВ-235) переменного напряжения, как показано на рис. 10.13, б. Эти реле, подключаемые непосредственно к трансформаторам напряжения, выполняют одновременно

функции двух реле: реле минимального напряжения и реле времени. При исчезновении напряжения реле начинают работать и с установленной выдержкой времени замыкают цепь отключения выключателей рабочего источника питания.

Пусковой орган минимального напряжения может быть выполнен с одним реле времени *PВ* типа РВ-235К, которое выключается через вспомогательное устройство типа ВУ-200, представляющее собой трехфазный выпрямительный мост (рис. 10.13, в). Это реле времени начинает работать лишь в том случае, если напряжение исчезнет одновременно на трех фазах. При отключении одного из автоматических выключателей в цепях напряжения реле не работает, так как на его обмотке остается напряжение от двух других фаз.

В схеме, приведенной на рис. 10.13, г, блокировка от нарушения цепей напряжения осуществляется с помощью реле минимального тока *РТ*, включенного в цепь трансформаторов тока рабочего источника питания. В нормальных условиях, когда рабочий источник питает нагрузку, по обмотке реле *РТ* проходит ток, и оно держит свои контакты разомкнутыми. В случае отключения рабочего источника или при исчезновении напряжения на питающих шинах, когда исчезает ток нагрузки, реле *РТ* замыкает свои контакты и совместно с реле минимального напряжения *РН* производит отключение рабочего источника питания.

При отключении источника, питающего шины высшего напряжения рабочего трансформатора или линии (например, шины *Б* на рис. 10.12), пусковой орган минимального напряжения может прийти в действие не сразу, так как в течение примерно 0,5—1,5 сек синхронные и асинхронные, электродвигатели будут поддерживать на шинах остаточное напряжение, превышающее напряжение срабатывания реле минимального напряжения. Это обстоятельство задерживает работу АВР, поскольку вначале должно затухнуть остаточное напряжение до напряжения срабатывания пускового органа, а затем должен сработать пусковой орган, который всегда имеет выдержку времени, затем должен отключиться рабочий источник, и только после этого произойдет включение резервного источника.

Для ускорения действия АВР в указанных условиях пусковой орган целесообразно дополнять реле понижения частоты, который выявляет прекращение питания раньше, чем реле минимального напряжения. В самом деле, после отключения источника питания электродвигатели начинают резко снижать частоту вращения, благодаря чему частота остаточного напряжения также быстро снижается. При уставке срабатывания реле понижения частоты 48 Гц оно сработает при снижении частоты вращения электродвигателя и синхронных конденсаторов всего на 4%, что происходит уже через 0,1–0,2 сек.

Схема пускового органа АВР с двумя реле понижения частоты приведена на рис. 10.14, а.

Пусковой орган включает в себя два реле понижения частоты *РЧ1* и *РЧ2* и одно промежуточное реле *Р* (рис. 10.14, б). Реле *РЧ1* подключено к трансформатору напряжения *ТН1* шин низшего напряжения, к которому подключены также реле напряжения *РН1* и реле времени *РВ1* и *РВ2*. Реле *РЧ2* подключено к трансформатору напряжения *ТН2* шин резервного источника питания, к которому подключено также реле *РН2*.

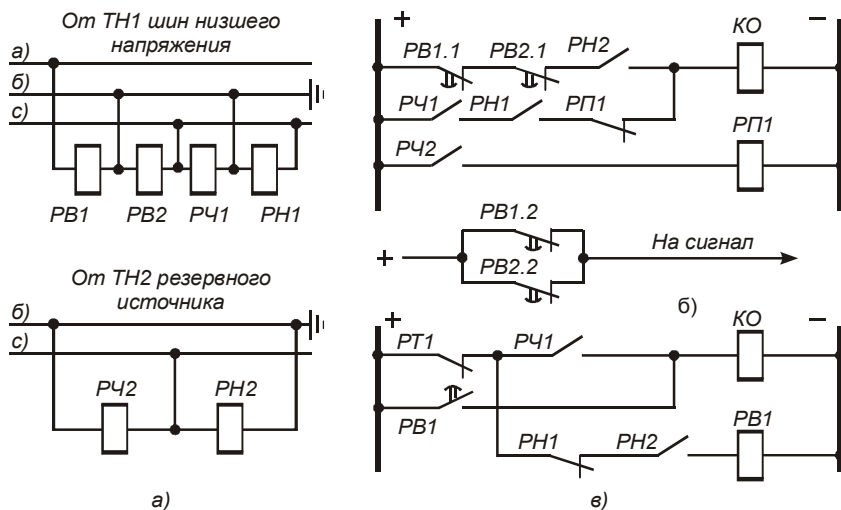


Рис. 10.14. Принципы выполнения пусковых органов АВР, реагирующих на понижение частоты

а — цепи переменного напряжения для схемы с двумя реле частоты;

б — цепи оперативного тока для схемы с двумя реле частоты;

в — цепи оперативного тока для схемы с одним реле частоты в сочетании с пусковым органом минимального тока и напряжения.

Рассматриваемый пусковой орган работает следующим образом. При отключении источника, питающего шины высшего напряжения *Б* (см. рис. 10.12, а), электродвигатели, питающиеся от шин *Б*, поддерживают на этих шинах остаточное напряжение, частота которого быстро снижается. При снижении частоты до уставки реле *РЧ1* оно сработает и через контакт реле *РН1*, замкнутый вследствие наличия остаточного напряжения, и размыкающий контакт промежуточного реле *РП1* воздействует на отключение выключателей рабочего источника питания. Благодаря наличию контакта реле напряжения *РН1* предотвращается ложное срабатывание пускового органа при кратковременном снятии напряжения с обмотки реле частоты *РЧ1*, когда могут замкнуться его контакты.

В рассмотренном случае, когда срабатывание (замыкание контакта) реле $PЧ1$ происходит вследствие отключения рабочего источника питания, реле $PЧ2$ не замыкает контакт, так как на шинах подстанции A сохраняется нормальное напряжение. Реле $PЧ2$ предназначено для того, чтобы предотвратить отключение рабочего источника питания при общесистемном понижении частоты. В этом случае частота напряжения будет снижаться одинаково на всех шинах (A , B , C), но первым сработает реле $PЧ2$, которое настраивается на более высокую уставку, чем реле $PЧ1$. Сработав, реле $PЧ2$ воздействует на промежуточное реле $РП1$, которое своим контактом размыкает цепь от контакта реле $PЧ1$, предотвращая отключение рабочего источника питания при срабатывании реле $PЧ1$.

На рис. 10.14, в изображена более простая схема пускового органа с одним реле понижения частоты в сочетании с пусковым органом минимального тока. В случае отключения источника, питающего шины высшего напряжения B , исчезнет ток в рабочем трансформаторе и понизится частота остаточного напряжения на шинах B . При этом сработают и замкнут контакты реле минимального тока $РТ1$ и реле частоты $PЧ1$, что приведет к созданию цепи на отключение рабочего трансформатора. Реле частоты $PЧ1$ может сработать, и при общесистемном снижении частоты, но цепи на отключение рабочего источника при этом не создастся, так как по рабочему трансформатору будет проходить ток нагрузки, и поэтому контакт реле $РТ1$ останется разомкнутым.

С помощью реле напряжения $РН1$, $РН2$ и реле времени $РВ1$ в рассматриваемой схеме осуществляется пусковой орган минимального напряжения.

10.2.4. Автоматическое включение резерва на подстанциях

На подстанциях высокого напряжения находят широкое применение АВР разных типов. Наряду с АВР трансформаторов применяются АВР секционных и шиносоединительных выключателей и АВР линий.

Схема АВР секционного выключателя, приведенная на рис. 10.15, отличается от рассмотренных выше некоторыми особенностями. Питание секций шин подстанции, к одной из которых подключен синхронный электродвигатель $СД$ большой мощности, производится от двух рабочих трансформаторов $T1$ и $T2$. При отключении любого из них происходит автоматическое включение секционного выключателя $B5$. Однократность действия АВР в схеме на рис. 10.15 обеспечивается так же, как и в схемах, рассмотренных выше, с помощью реле $РПВ1$ и $РПВ3$ (реле положения «Включено» в схеме управления соответствующими выключателями).

В случае отключения выключателя $B1$ трансформатора $T1$, питающего первую секцию, замыкается вспомогательный контакт этого выключателя $БК1.2$ и через замкнутый в рабочем состоянии схемы контакт $РПВ1.1$ реле $РПВ1$ подает импульс на катушку включения выключателя $B5$ $КВ5$. Из-за наличия на 2-й секции синхронного электродвигателя (или синхронного компенсатора) действие АВР при отключении выключателя $B3$ будет происходить по-другому. После отключения трансформатора $T2$, питающего 2-ю секцию, частота вращения синхронного электродвигателя (синхронного компенсатора) будет уменьшаться постепенно, вследствие чего при действии АВР он может быть включен несинхронно через трансформатор $T1$. Если толчок тока при несинхронном включении превышает величину, допустимую для синхронного электродвигателя (компенсатора) или трансформатора, синхронный электродвигатель необходимо предварительно отключить и лишь затем включить секционный выключатель.

Отключение выключателя $B6$ синхронного электродвигателя в схеме на рис. 10.15 производится от вспомогательного контакта $БК3.2$ выключателя $B3$ при его отключении. В цепи отключения предусмотрена накладка $H1$ для вывода цепи отключения из действия, что необходимо на случай питания обеих секций от трансформатора $T1$ при замкнутом секционном выключателе. После отключения выключателя синхронного электродвигателя его вспомогательным контактом $БК6.2$ будет замкнута цепь на включение секционного выключателя $B5$.

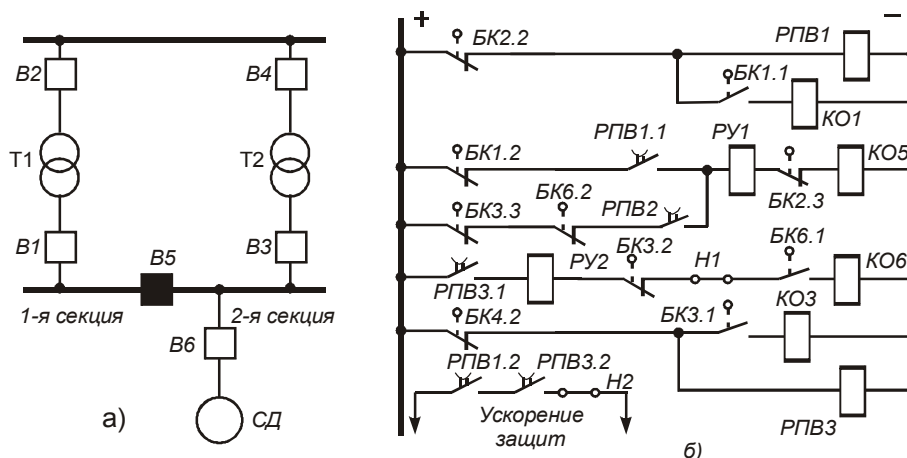


Рис. 10.15. Схема АВР секционного выключателя подстанции с синхронным двигателем

а — поясняющая схема;

б — оперативные цепи

Допускается вместо отключения выключателя синхронного электродвигателя (компенсатора) временно отключать автомат гашения поля (АГП) и включать его вновь после, включения секционного

выключателя. Толчок тока при этом будет меньше, чем при несинхронном включении, а после обратного включения АГП синхронный электродвигатель (компенсатор) втянется в синхронизм, т. е. произойдет его самосинхронизация. При наличии на подстанции нескольких синхронных электродвигателей контроль допустимости включения секционного выключателя от АВР обычно осуществляется с помощью реле минимального напряжения, т.е. АВР осуществляется с ожиданием снижения напряжения до 0,5–0,6 номинального.

Для быстрого отключения секционного выключателя в случае включения на неустранившееся КЗ на шинах подстанции в схеме предусмотрено ускорение защиты секционного выключателя после АВР.

Ускорение осуществляется контактами РПВ1.2 и РПВ3.2 реле РПВ1 и РПВ3.

В отличие от схем АВР, рассмотренных выше, в схеме на рис. 10.14 отсутствует пусковой орган минимального напряжения, который в данном случае не нужен, так как оба источника питаются от одних общих шин высшего напряжения; при исчезновении напряжения на этих шинах действие АВР будет бесполезным.

Действие АВР должно согласовываться с действием других устройств автоматики и, в частности, с действием автоматики частотной разгрузки АЧР (см. раздел 10.4), отключающей потребителей при аварийном снижении частоты в энергосистеме. Для предотвращения снижения эффективности АЧР действие АВР на восстановление питания потребителей, отключенных от АЧР, должно запрещаться.

Наряду с устройствами АВР, работающими на постоянном оперативном токе, большое распространение на подстанциях получили АВР на переменном оперативном токе. На рис. 10.16 приведена схема АВР секционного выключателя на переменном оперативном токе для подстанции с двумя трансформаторами, питающимися ответвлениями от двух линий без выключателей на стороне высшего напряжения трансформаторов. Секционный выключатель ВЗ нормально отключен. Оперативный ток для питания схемы автоматики подается от трансформаторов собственных нужд ТСН1 и ТСН2. Особенностью схемы является то, что при исчезновении напряжения на одной из линий (Л1 или Л2) АВР включает секционный выключатель, а при восстановлении напряжения на линии автоматически собирает нормальную схему подстанции.

Пусковым органом схемы являются реле времени РВ1 и РВ2 типа РВ-235, контакты которых РВ1.2 и РВ2.2 включены последовательно в цепи КО1. Последовательно с контактами этих реле включен мгновенный контакт реле времени РВ1 трансформатора Т2, которое контролирует наличие напряжения на этом трансформаторе. Обмотки реле РВ1 и РВ2 включены на разные трансформаторы (ТСН1 и ТН1), что исключает возможность ложного действия пускового органа в случае неисправности в цепях напряжения. Реле РВ1, подключенное к трансформатору собственных нужд ТСН1, установленному до выключателя трансформатора Т1, используется также для контроля за появлением напряжения на трансформаторе Т1 при включении линии Л1.

Пунктиром обведены цепи, относящиеся к трансформатору Т1. В случае исчезновения напряжения в результате отключения линии Л1 запускаются реле времени РВ1 и РВ2 и размыкают свои мгновенные контакты РВ1.1 и РВ2.1, снимая напряжение с обмотки реле времени РВ3 типа РВ-248. Это реле при снятии напряжения мгновенно возвращается в исходное положение, а при подаче напряжения срабатывает с установленной выдержкой времени. Если действием АПВ линии напряжение не будет восстановлено, то с установленной выдержкой времени (большей времени АПВ линии) замкнутся контакты реле времени РВ1.2 к РВ2.2 и создадут цепь на катушку отключения КО1 выключателя В1 трансформатора Т1. При отключении выключателя В1 замкнется его вспомогательный контакт БК1 (рис. 10.15, в) в цепи катушки включения КВ3 секционного выключателя ВЗ через еще замкнутый контакт РПВ1.1 реле однократности включения. Секционный выключатель включится и подаст напряжение на 1-ю секцию подстанции. При этом подтянется реле времени РВ2, замкнет контакт РВ2.1 и разомкнет РВ2.2. Реле РВ1 останется без напряжения. Поэтому его контакт РВ1.1 останется разомкнутым, а реле времени РВ3 будет по-прежнему находиться в исходном положении, держа разомкнутыми все свои контакты.

При восстановлении напряжения на линии Л1 напряжение появится и на трансформаторе Т1, поскольку его отделитель оставался включенным. Получив напряжение, реле РВ1 подтянется, замкнет контакт РВ1.1 и разомкнет РВ1.2. При замыкании контакта РВ1.1 начнет работать реле времени РВ3, которое своим проскальзывающим контактом РВ3.2 создаст цепь на включение выключателя В1, а конечным контактом РВ3.3 на отключение секционного выключателя ВЗ, при этом автоматически восстанавливается исходная схема подстанции. При этом цепь на отключение секционного выключателя создается при условии, что включен выключатель В2 трансформатора Т2. Если АВР выключателя ВЗ будет успешным 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 автоматика вводится в работу. Схема, аналогичная представленной на рис. 10.16, обеспечивает действие АВР Т2.

Для работы автоматики в рассмотренной схеме, все выключатели должны быть оборудованы грузовыми или пружинными приводами.

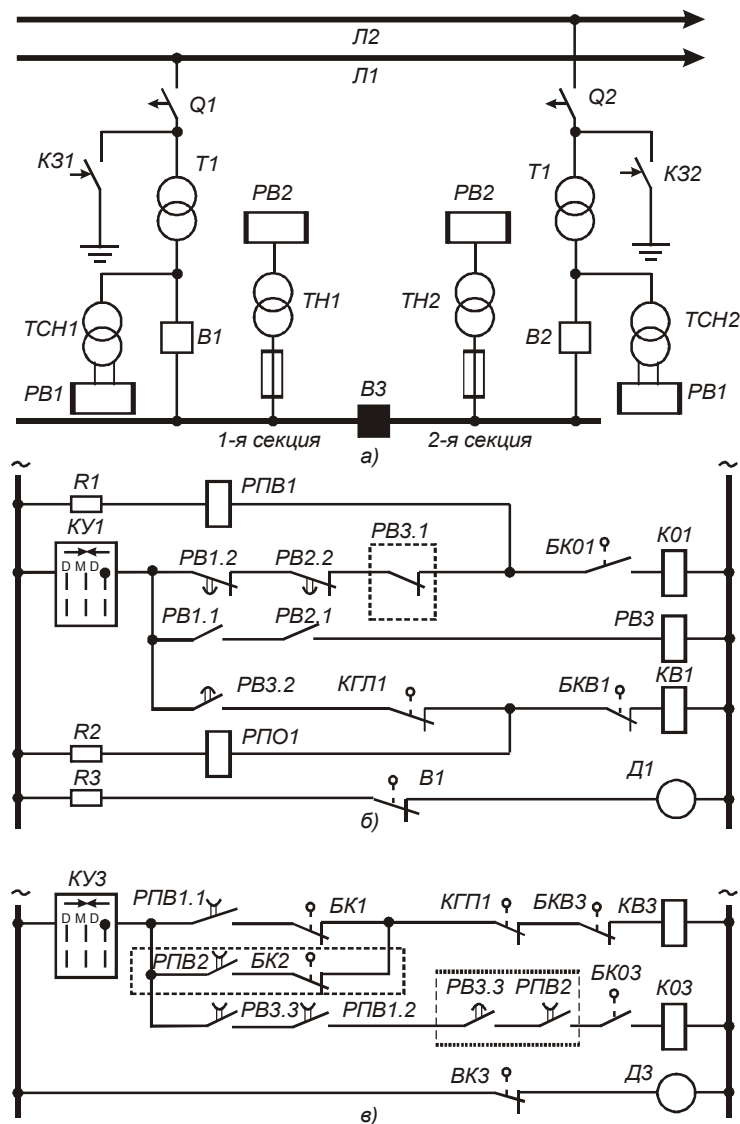


Рис. 10.16. Схема АВР секционного выключателя на переменном оперативном токе для двухтрансформаторной подстанции, подключенной к линиям электропередачи ответвлениями без выключателей:

- а – схема подстанции;
- б – цепи управления и АВР выключателя $B1$ выключателя $B1$;
- в – цепи управления и АВР выключателя $B3$

10.2.4. Сетевые АВР

В распределительных сетях находят широкое применение АВР, обеспечивающие при своем срабатывании восстановление питания нескольких подстанций сети, так называемые сетевые АВР. Схема такого АВР приведена на рис. 10.17. Устройство АВР двустороннего действия обеспечивает восстановление питания участков сети, расположенных слева и справа от подстанции B , в случае нарушения питания от подстанций A и D соответственно. Пуск АВР осуществляется контактами реле напряжения $РН1$ или $РН2$, подключенными к трансформаторам напряжения $ТН1$ и $ТН2$ соответственно. В цепи обмотки реле времени $РВ1$ пускового органа АВР включены замыкающие контакты автоматических выключателей $A1$ и $A2$, предотвращающие ложное срабатывание пускового органа в случае неисправности цепей напряжения, а также замыкающие контакты реле напряжения $РН3$ и $РН4$, контролирующие наличие напряжения со стороны резервного источника.

В схеме пускового органа АВР предусмотрено второе реле времени $РВ2$ для возможности осуществления двух различных уставок по времени в случае отключения источников питания от подстанций A и D . Однократность действия рассматриваемой схемы АВР обеспечивается двухпозиционным реле переменного тока $РПФ1$ типа РП-9.

В нормальном режиме замкнуты контакты реле $РПФ1.1$ и подготовлена цепь обмотки выходного промежуточного реле $РП$. После срабатывания $РП$, подающего импульс на включение $B1$, и замыкания контактов реле положения «Включено» $РПВ1$, фиксирующего завершение процесса включения $B1$, реле $РПФ1$ срабатывает и переключает свои контакты, размыкая $РПФ1.1$ в цепи обмотки $РП$. Возврат реле $РПФ1$ и подготовка схемы АВР к новому действию осуществляются нажатием кнопки K . Эту опе-

рацию выполняет персонал оперативно-выездной бригады, отправляющийся на подстанцию при поступлении сигнала о срабатывании АВР. Действие сетевого АВР увязывается с АПВ линий, что обеспечивает наибольшую эффективность действия автоматики. Релейная защита в рассматриваемой сети должна выполняться с учетом возможности питания промежуточных подстанций как от одного, так и от другого источника.

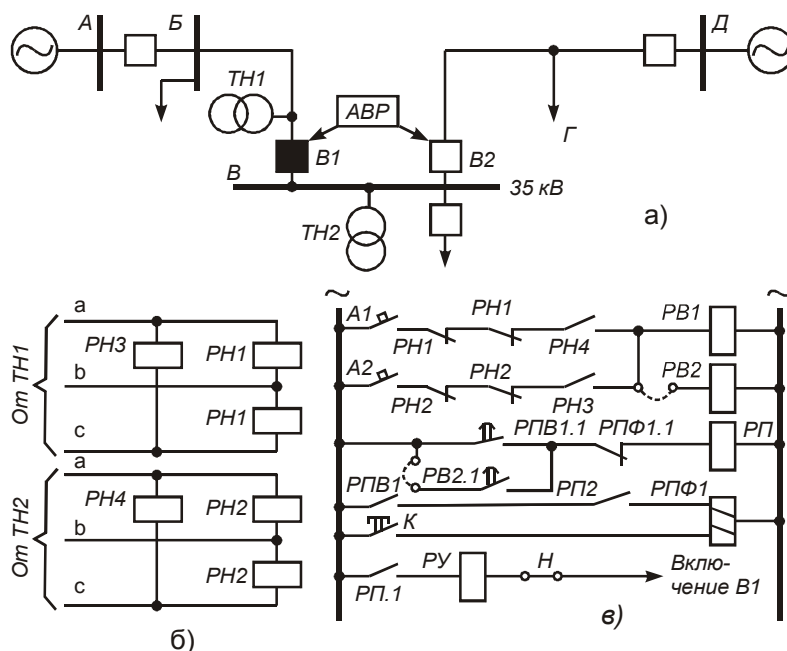


Рис. 10.17 Схема сетевого АВР.
а – схема сети; б – цепи напряжения;
в – оперативные цепи.

10.2.5. Быстродействующее АВР

Быстродействующее АВР (БАВР) предназначено для повышения надежности электроснабжения синхронных двигателей 6-10 кВ и обеспечения их устойчивости при кратковременных нарушениях электроснабжения. Для этого требуется быстро выявить факт исчезновения напряжения со стороны основного питания, проверить отсутствие повреждения на шинах отключить основной ввод питания и включить выключатель резервного источника. Включение можно произвести либо до того, как вектора напряжения двигателей и резервного источника разойдутся на недопустимый угол, или после окончания первого цикла проворота, когда напряжения опять совпадут по фазе. Основой такого АВР являются быстродействующие устройства защиты и автоматики, а также быстродействующие выключатели. В качестве таких выключателей можно применить вакуумные выключатели, имеющие время отключения порядка 0,015 сек, а включения 0,02 сек.

Комплекс устройств БАВР производства научно-исследовательского центра ВЭИ – (ВНИЦВЭИ г. Москва) включает в себя быстродействующие вакуумные выключатели типа ВБТЭ-М, ВВЭМ, ВБЧЭ и другие с электродинамическим устройством управления приводом и быстродействующее пусковое устройство АВР (ПУ АВР) типа БЭ8302, размещаемые в шкафах КРУ серий К-104м, К-113, КРУ2-10 и т.п., в шкафах КСО или других типах ячеек распределительного устройства 6-10 кВ.

Пусковое устройство (ПУ) АВР представляет собой многоэлементное устройство релейной защиты и противоаварийной автоматики, способное обеспечить двухстороннее действие на отключение выключателей двух вводов и на включение секционного выключателя резервного питания. Логика ПУ АВР обеспечивает адаптируемое АВР: в зависимости от вида аварии обеспечивается или опережающее АВР (при потерях питания вызванных неоперативными отключениями питающих фидеров), или одно-временное АВР или АВР с контролем от блок-контактов отключаемого вводного выключателя (при потерях питания вызванных КЗ в питающей линии).

В ПУ АВР предусмотрена возможность синфазного включения аварийной секции (в конце первого проворота векторов напряжения аварийной секции относительно резервной).

Пусковое устройство АВР включает следующие блоки

- блоки минимального напряжения (реагирует на КЗ);
- блок контроля угла между одноименными напряжениями прямой последовательности первой и второй секций шин (реагирует на потери питания, связанные с неоперативными отключениями питающих фидеров);
- блоки направления активной мощности прямой последовательности (определяет место КЗ: до вводного выключателя секции или после него).

Основные технические характеристики ПУ АВР

Контролируемое напряжение переменного тока, В	100
Номинальное напряжение оперативного постоянного (или выпрямленного) тока, В	220
Номинальный ток, А	5
Номинальная частота, Гц	50-60
Время срабатывания пускового устройства, сек, не более	0,06
Время срабатывания органа минимального напряжения, сек, не более	0,045
Время срабатывания органа контроля угла, сек, не более	0,02
Время срабатывания реле направления активной мощности, сек, не более	0,035

Быстродействующие коммутационные аппараты выполнены на базе серийных вакуумных выключателей с электромагнитным приводом типа ВБТЭ-М (г. Уфа), ВВЭМ, ВБЧЭ (г. Минусинск) или других, и комплектуются специальным электродинамическим устройством управления приводом (г. Истра). Использование электродинамического устройства управления приводом выключателя (ЭДУУ) позволило уменьшить время отключения и сократить в 2,5-3 раза время включения выключателей по сравнению со временами серийных вакуумных выключателей. Увеличение быстродействия срабатывания привода не уменьшает механический и коммутационный ресурс аппарата, так как быстродействие достигается только за счет сокращения времени трогания сердечников электромагнитов включения и отключения выключателя.

10.2.6. Выполнение схем АВР с помощью аппаратуры

Фирма "Системы РЗА" выпускает комплектное устройство напряжения УЗА-АН (РС81), с помощью которого можно выполнить АВР.

Защита минимального напряжения (ЗМН) для схемы АВР

В качестве пусковых органов ЗМН используются органы минимального напряжения реле УЗА АН. Органы минимального напряжения используются для 2 целей:

- Пуск АВР при исчезновении напряжения – действует на отключение питающего ввода потерявшего питание;
- Проверка отсутствия напряжения на секции при включении СВ от АВР.

Схема ЗМН отключения ввода 6(10) кВ с реле УЗ АН показана на рис. 10.18.

В цепь выходного реле ЗМН ($KL3$) включается размыкающий контакт реле KHH органа максимального напряжения смежной секции 6(10) кВ (контроль наличия напряжения на резервной секции) и контакт переключателя $SA2$ вывода ЗМН – АВР. Переключатель целесообразно разместить в ячейке СВ 6(10) кВ, и тогда им выводится действие ЗМН – АВР по двум секциям одновременно. Если его устанавливать в ячейках ТН–6(10) кВ, или вводах 6(10) кВ каждой секции, то тогда возможен вывод ЗМН – АВР по каждой секции отдельно.

Для исключения ложного срабатывания ЗМН при отключении автомата трансформатора напряжения, напряжение на вход $KL3$ подается через замыкающий блок-контакт.

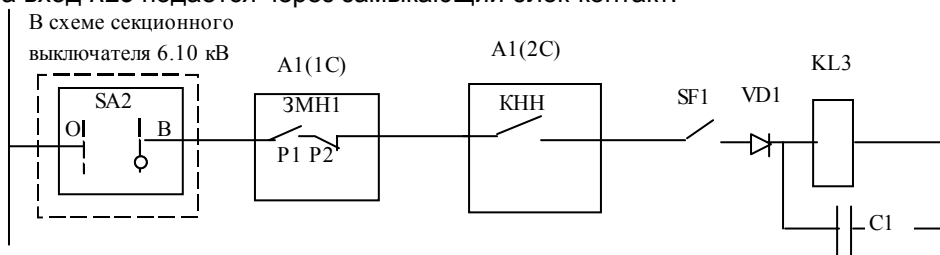


Рис. 10.18. Схема ЗМН с использованием УЗА АН (РС81)

Выход ЗМН состоит из 2 последовательно включенных контактов: по истечении выдержки времени АВР срабатывает реле P1 и замыкается его контакт в цепи выходного реле ЗМН. Если напряжение не восстановится, то через 0.25-0.4 сек срабатывает реле P2, и его контакт в цепи пуска ЗМН размыкается. За счет этого, после отпадания реле $KL3$ снимается отключающий импульс, препятствующий включению ввода, например от АПВ, при его совместном использовании с АВР. Если подобная взаимоблокировка не нужна, то можно ограничиться одним контактом P1 в схеме ЗМН1. В этом случае импульс ЗМН, препятствующий ручному или дистанционному от ТУ отключению, снимется через 4-5 сек после разряда конденсатора в блоке питания УЗА-АН (цепи ТН являются одновременно источником оперативного напряжения для реле).

Цепочка $VD1-C1$ обеспечивает задержку отпадания реле $KL3$ защиты минимального напряжения на время включения выключателя от АВР.

Контроль наличия напряжения на резервном вводе выполняется пусковым органом максимального напряжения (KHH). Это позволяет выполнить действие АВР только при наличии напряжения на секции резервного питания.

На рис. 10.19 показаны цепи действия АВР на секционный выключатель и выключатель ввода. ЗМН действует на отключение ввода 6(10) кВ без блокировки АВР. Для этого служит разделительный диод VD1. Если же отключение ввода происходит от защит, запрещающих АВР, оперативно или по локальной сети, то срабатывает реле блокировки АВР KL с задержкой при возврате (РП252 или реле R4 с конденсатором). При отключении же питающего трансформатора от защит АВР выполняется команда на включение секционного выключателя подается после отключения выключателя ввода через его размыкающий блок-контакт, замыкающий контакт реле положения «включено» KQC1 и размыкающий контакт реле блокировки. Если отключение ввода происходит без блокировки АВР, то реле KL не срабатывает, а реле KQC1 возвращается после отключения выключателя с задержкой, достаточной для надежного включения секционного выключателя.

В ряде случаев перед включением секционного выключателя от АВР требуется проверить отсутствие напряжения на рабочей секции. Дело в том, что выключатель ввода может отключиться не только от ЗМН, но и от других защит трансформатора.

В этом случае АВР действует немедленно после отключения ввода и может быть подано напряжение на секцию без контроля напряжения, например на работающие синхронные двигатели. Для того чтобы избежать такой возможности подачи напряжения, в цепи включения СВ от АВР можно установить входящий в состав УЗА АН второй комплект ЗМН, используя его для контроля отсутствия напряжения на секции см. рис. 10.20.

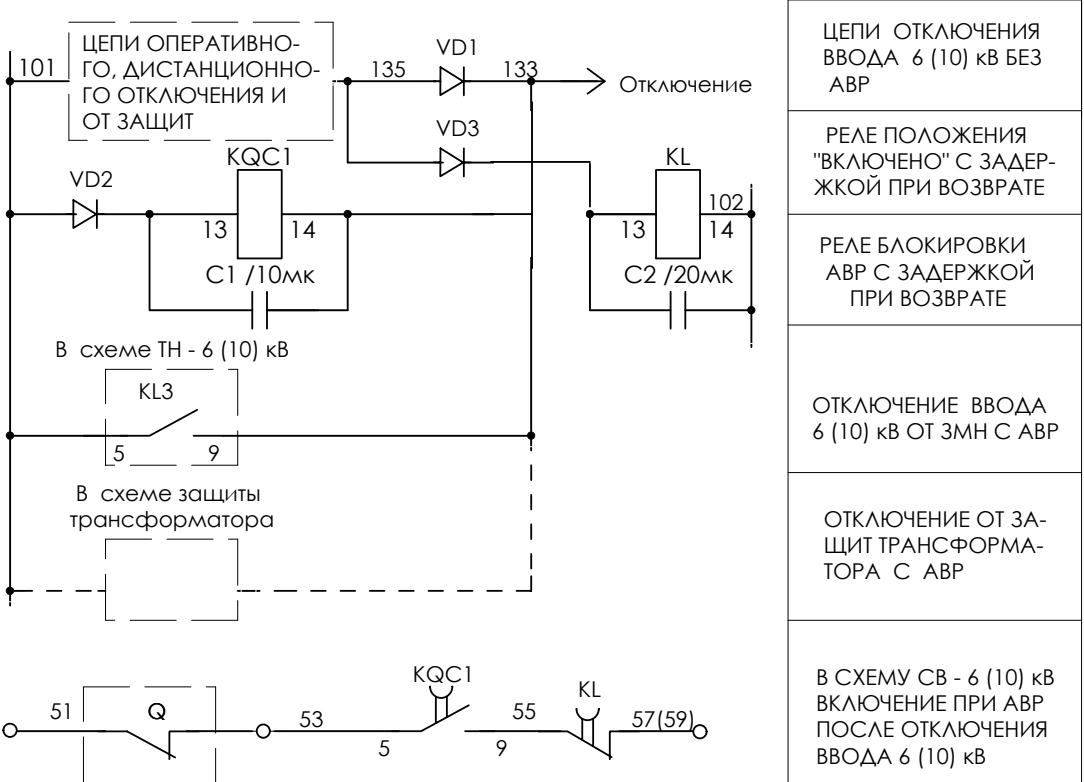


Рис. 10.19. Схема цепей АВР с применением реле УЗА-АН

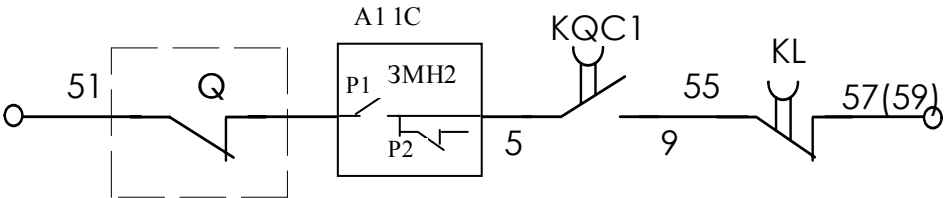


Рис. 10.20. Вариант включения СВ от АВР с применением реле УЗА АН и с контролем отсутствия напряжения на шинах.

Для выполнения АВР могут быть использованы и микропроцессорные реле напряжения для ТН 6-35 кВ РС83-В.2. Кроме того, при участии авторов, разработано комплектное дешевое устройство **РС-АВР**, которое удобно использовать при проведении реконструкции с заменой схемы на отдельных электро-механических реле.

ЗМН также используется для отключения линий 6(10) кВ, питающей электродвигатели, при снижении напряжения питания, а также для отключения ввода 6(10) кВ перед выполнением АВР.

10.2.7. Расчет уставок АВР

а) Реле однократности включения;

Выдержка времени промежуточного реле однократности включения $t_{ов}$ от момента снятия напряжения с его обмотки до размыкания контакта должна с некоторым запасом превышать время включения выключателя резервного источника питания:

$$t_{ов} = t_{вкл} + t_{зан} \quad (10.6)$$

где

$t_{вкл}$ – время включения выключателя резервного источника питания; если выключателей два, то выключателя, имеющего большее время включения;

$t_{зан}$ – время запаса, принимаемое равным $0,3 \div 0,5$ сек

б) Пусковой орган минимального напряжения

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения при выполнении пускового органа по схеме на рис. 10.12, а выбирается так, чтобы пусковой орган срабатывал только при полном исчезновении напряжения и не приходил в действие при понижениях напряжения, вызванных КЗ или самозапуском электродвигателей.

Для выполнения этого условия напряжение срабатывания реле минимального напряжения (напряжение, при котором возвращается якорь реле) должно быть равным:

$$U_{ср} = U_{ост.н} / (k_n \cdot k_U) \quad (10.7)$$

$$U_{ср} = U_{зан} / (k_n \cdot k_U) \quad (10.8)$$

где

$U_{ост.н}$ – наименьшее расчетное значение остаточного напряжения при к. з.;

$U_{зан}$ – наименьшее напряжение при самозапуске электродвигателей;

k_n – коэффициент надежности, принимаемый 1,25;

k_U – коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Для определения наименьшего остаточного напряжения производятся расчеты при трехфазных КЗ за реакторами и трансформаторами (точки 1, 2, 3 на рис. 10.16) и расчет самозапуска электродвигателей. Принимается меньшее значение напряжения срабатывания из полученных по формулам (10.7) и (10.8). В большинстве случаев обоим условиям удовлетворяет напряжение срабатывания, равное:

$$U_{ср} = (0,25 \div 0,4) U_{ном} \quad (10.9)$$

где

$U_{ном}$ – номинальное напряжение электроустановки.

Следовательно, практически можно принимать напряжение срабатывания согласно формуле (10.9).

При выполнении пускового органа минимального напряжения с помощью реле времени переменного напряжения по схемам на рис. 10.13, б и в необходимо иметь в виду следующее. Напряжение срабатывания реле времени типов РВ-215 – ЭВ-245 не регулируется и по данным завода составляет $(0,25 - 0,55) U_{ном,р}$, где $U_{ном,р}$ – номинальное напряжение реле. Поэтому при использовании этих реле в схемах пусковых органов минимального напряжения нужно отбирать реле с напряжением срабатывания не выше предусмотренного по (10.9).

Напряжение срабатывания реле времени типов РВ-215К—ЭВ245К также не регулируется, но по данным завода не превышает $0,35 U_{ном,р}$. Поэтому в схемах пусковых органов можно применять любые реле этих типов.

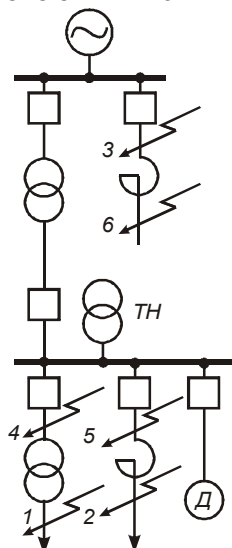


Рис. 10.21 К выбору уставок пусковых ор-

Таким образом, выдержка времени пускового органа минимального напряжения должна быть равна:

$$t_{но} = t_1 + \Delta t \quad (10.10)$$

$$t_{но} = t_2 + \Delta t \quad (10.11)$$

где

t_1 – наибольшая выдержка времени защиты присоединений, отходящих от шин высшего напряжения подстанции;

t_2 –наибольшая выдержка времени защиты присоединений, отходящих от шин низшего напряжения подстанции;

Δt –ступень селективности, равная 0,4- 0,5 сек.

Чем меньше выдержка времени пускового органа АВР, тем меньше перерыв питания потребителей. Поэтому при выборе уставок пускового органа следует стремиться к тому, чтобы выдержка времени была по возможности меньше.

ганов АВР

Выдержка времени пускового органа минимального напряжения должна быть на ступень селективности больше выдержек времени защит, в зоне действия которых остаточное напряжение при КЗ оказывается ниже напряжения срабатывания реле минимального напряжения или реле времени. Такой зоной являются участки до реакторов (точки 5, 6) и до трансформаторов (точка 4) на рис. 10.22.

в) Пусковой орган минимального тока и напряжения

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения пускового органа минимального тока и напряжения (см. рис.10.13, а) выбирается, как рассмотрено выше, по формулам (10.7) - (10.8). При этом отстраиваться следует только от коротких замыканий в точке 3 (рис. 10.22), так как при коротком замыкании в точках 4 и 5 через трансформатор проходит большой ток КЗ и реле T держит контакт разомкнутым.

Ток срабатывания реле минимального тока должен быть меньше минимального тока нагрузки и определяется по формуле:

$$I_{cp} = I_{наг\min} / (k_n \cdot k_I) \quad (10.12)$$

где

$I_{наг\min}$ – минимальный ток нагрузки трансформатора;

k_n – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,5;

k_I – коэффициент трансформации трансформатора тока.

Выдержка времени определяется только по формуле (10.10) из условия согласования с защитой, действующей при КЗ в точке 6 (рис. 10.16). Согласования с защитами присоединений шин низшего напряжения не требуется.

г) Реле контроля наличия напряжения на резервном источнике питания

Напряжение срабатывания этого реле определяется из условия отстройки от минимального рабочего напряжения по формуле

$$U_{cp} = U_{раб.\min} / (k_n \cdot k_\epsilon \cdot k_U) \quad (10.13)$$

где

$U_{раб.\min}$ – минимальное рабочее напряжение;

k_n – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2;

k_ϵ – коэффициент возврата реле.

10.3. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТНАЯ РАЗГРУЗКА (АЧР)

10.3.1. Назначение и основные принципы выполнения АЧР

Пока в энергосистеме имеется вращающийся резерв активной мощности, системы регулирования частоты и мощности должны 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. Современные мощные тепловые и атомные энергоблоки, которые составляют основу энергетики Украины, имеют малый диапазон регулирования активной мощности, что не позволяет выполнить надежное регулирование частоты и активной мощности в необходимом диапазоне. Поэтому зачастую применяют ручное регулирование частоты, такое регулирование часто заключается в пуске и останове блоков и поэтому мощность меняется ступенчато, образуя либо дефицит либо избыток мощности. 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 скорость вращения электродвигателей, а следовательно, снижается и производительность приводимых ими механизмов собственного расхода хода 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. Это касается также и атомных электростанций. Таким образом, происходит лавинообразный процесс – «лавины 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. Дело в том, что каждый ряд лопаток имеет собственную частоту резонанса, все группы лопаток имеют разные размеры и конструкторам турбин приходится долго заниматься тем, чтобы вывести все группы лопаток из резонанса при частоте вращения близкой к номинальной. Если та или другая группа лопаток турбины попадет в резонанс, она

может быть через некоторое время повреждена. Зона, свободная от резонансов составляет 1-2 Гц и недопустима длительная работа системы при частотах выходящих за этот диапазон.

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.

Поскольку вращающийся резерв невелик, он не может покрыть большой дефицит мощности, возникший в узле.

При отсутствии вращающегося резерва единственным возможным способом восстановления частоты является отключение части наименее ответственных потребителей. Это и осуществляется с помощью специальных устройств – автоматов частотной разгрузки (АЧР), срабатывающих при опасном снижении частоты.

Следует отметить, что действие АЧР всегда связано с определенным ущербом, поскольку отключение линий, питающих электроэнергией промышленные предприятия, сельскохозяйственных и других потребителей, влечет за собой недовыработку продукции, появление брака и т. п. Несмотря на это, АЧР широко используется в энергосистеме как средство предотвращения значительно больших убытков из-за полного расстройств работы энергосистемы, если не будут приняты срочные меры по ликвидации дефицита активной мощности.

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 электросветильные 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 $k_{нагр}$, равным отношению

$$k = \frac{\Delta P\%}{\Delta f\%} \quad (10.14)$$

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 2,5–4.

Устройства АЧР должны устанавливаться там, где возможно возникновение значительного дефицита активной мощности во всей энергосистеме или в отдельных ее районах, а мощность потребителей, отключаемых при срабатывании АЧР, должна быть достаточной для предотвращения снижения частоты, угрожающего нарушением работы механизмов собственного расхода электростанций, что может повлечь за собой лавину частоты. 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 сек, а с частотой ниже 48,5 Гц – 60 сек. Допустимое время снижения частоты ниже 49 Гц по условиям работы АЭС равно 2 минуты.



Рис. 10.22. Изменение частоты при возникновении дефицита активной мощности

I – при отсутствии АЧР; *II* – при наличии АЧР.

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 до частоте срабатывания.

На рис. 10.22 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 мощности при новом сниженном значении частоты – (кривая *I*). Для восстановления в энергосистеме нормальной частоты в этом случае необходимо вручную отключить часть нагрузки потребителей, суммарное потребление мощности которыми при частоте 50 Гц равно дефициту мощности, вызвавшему аварийное снижение частоты. Учитывая возможные аварийные режимы, доля нагрузки, подключенной к АЧР, в энергосистемах Украины составляет порядка 60%.

Иначе будет протекать процесс изменения частоты при наличии АЧР (кривая *II*). Пусть, например, автоматическая частотная разгрузка состоит из трех очередей с уставками срабатывания 48; 47,5 и 47 Гц. Когда частота снизится до 48 Гц (точка 1), сработают 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 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 АЧР 3-й очереди и отключат еще часть потребителей. Снижение частоты останавливается. Однако, как уже говорилось, для сохранения надежной работы системы частоту необходимо поднять выше 49,0 Гц. Таким образом, работа АЧР должна быть продолжена другими устройствами АЧР. Устройства АЧР, используемые для ликвидации аварийного дефицита активной мощности в энергосистемах, подразделяются на три основные категории.

Первая категория автоматической частотной разгрузки АЧР I быстродействующая ($t=0,3\pm0,5$ сек) с уставками срабатывания от 48,5 Гц (в отдельных случаях от 49,2÷49,3 Гц) до 46,5 Гц. Назначение очередей АЧР I – не допустить глубокого снижения частоты в первое время развития аварии. Уставки срабатывания отдельных очередей АЧР I отличаются одна от другой на 0,1 Гц.

Мощность, подключаемая к АЧР I, примерно равномерно распределяется между очередями.

Вторая категория автоматической частотной разгрузки—АЧР II предназначена для восстановления частоты до длительно допустимого значения – выше 49,0 Гц. Вторая категория АЧР II работает после отключения части потребителей от АЧР I, когда снижение частоты прекращается, и она устанавливается на уровне 47,5÷48,5 Гц.

Уставки срабатывания всех АЧР II принимаются близкими по частоте в диапазоне 48,5÷48,8 Гц. Выдержки времени АЧР II отличаются друг от друга на 3 сек и принимаются равными 5÷90 сек. Большие выдержки времени АЧР II принимаются для того, чтобы постепенно довести частоту до нужной величины, не допустив повышения ее до величины существенно выше 49 Гц. Считается, что энергосистема может устойчиво и длительно работать при частоте превышающей 49,2 Гц и доведение ее до номинальной, означает, что будет отключена дополнительная часть потребителей, которая могла бы остаться в работе.

Совмещенная АЧР состоит из двух устройств АЧР I - АЧР II действующих на ту же нагрузку.

Кроме двух категорий автоматической частотной разгрузки – АЧР I и АЧР II в эксплуатации применяются некоторые другие очереди АЧР. Спецочередь АЧР – имеющая уставки 49,2 Гц, 0,3–0,5 сек должна препятствовать понижению частоты ниже 49,2 Гц, а защитная очередь АЧР 49,1 Гц 0,3–0,5 сек. не должна допустить снижения частоты ниже 49 Гц, опасной вследствие возможной разгрузки атомных электростанций и дальнейшего снижения частоты. АС вырабатывают около 40% энергии на Украине, поэтому и приходится удерживать частоту на необходимом уровне. Мощность нагрузки, подключенная к двум последним очередям АЧР недостаточна для того, чтобы обеспечить подъем частоты при тяжелых авариях, связанных с выделением узла со значительным дефицитом мощности. Эта задача возлагается на мощность, подключенную к АЧР I и АЧР II.

Таким образом, в современных условиях имеется 2 системы АЧР. Одна – спецочередь и защитная очередь удерживает частоту на длительно допустимом уровне и нужна для работы системы при недостатке генерирующей мощности, когда не представляется возможным удерживать номинальную частоту, так как для этого требуется отключить добавочное количество потребителей. Вторая система АЧР нужна для работы при аварийно возникших больших дефицитах мощности, отключает значительно больший объем нагрузки и также доводит частоту до длительно допустимого уровня превышающего 49,0 Гц. Может применяться также дополнительная разгрузка по другим факторам, например при отключении линий связи или генератора, в результате которого внезапно возникает дефицит мощности. Такая автоматика не дожидается снижения частоты и отключает нагрузку немедленно. Все эти виды

автоматики имеют название – противоаварийная режимная автоматика. Нетрудно заметить изменение приоритетов в этой противоаварийной автоматике – она предназначена удерживать нормальную работу системы за счет отключения потребителей. В конечном счете, пожертвовав частью потребителей, мы сохраняем в работе остальных. Нетрудно понять, что ни один из потребителей не хочет стать жертвой, за счет которой сохраняются остальные. Поэтому при выборе подключаемых к АЧР потребителей оценивается их значение – возникающий ущерб, снижение выпуска продукции, повреждение оборудования, опасность для жизни людей и т.д. Важен также порядок подключения потребителей к очередям АЧР: потребители, подключенные к очередям АЧР, имеющим более высокие уставки по частоте и меньшие выдержки времени, отключаются чаще.

У ответственных потребителей нагрузка разделяется на несколько категорий. Наиболее ответственная нагрузка 1 категории обычно отключению не подлежит. Для того чтобы иметь возможность избежать отключения ответственных потребителей 1 категории при работе АЧР и все таки отключить остальную нагрузку, стремятся приблизить места установки АЧР к потребителю, это означает, что АЧР необходимо выполнять на каждой подстанции.

Еще одной причиной распределения АЧР по многим объектам является то, что в таком случае АЧР становится самонастраиваемой: вследствие разброса уставок реле частоты в разных устройствах АЧР отключение происходит мелкими дозами, соответствующими уставке АЧР на данном объекте и поэтому обеспечивающими баланс между частотой и отключаемой нагрузкой для ее восстановления. Директивные материалы допускают неселективную работу смежных очередей АЧР, так как энергосистеме безразлично, на какой именно подстанции отключается необходимая нагрузка.

Совершенно очевидно, что такой разброс уставок не выгоден потребителю, так как он не хочет быть отключенным взамен другого с более высокими уставками. Особенно это характерно для очередей регулирующих частоту АЧР – спецочереди и защитной очереди АЧР с разницей частот в 0,1 Гц. Работа таких АЧР в условиях дефицита мощности может происходить неоднократно в течении дня, что практически парализует работу предприятия. Поэтому для этих АЧР применяются реле высокой точности, погрешность которых не превышает 0,01 Гц.

10.3.2. Предотвращение ложных отключений потребителей от АЧР при кратковременных понижениях частоты в энергосистеме

При отключении связи с энергосистемой питание обесточенных потребителей может быть восстановлено спустя небольшое время действием АПВ линий или трансформатора, а также АВР секционного выключателя. Однако за время, пока будет нарушена связь с энергосистемой, потребители подстанций могут быть отключены ложным действием АЧР. Это происходит потому, что, после отключения источника питания, напряжение на шинах подстанции с синхронными компенсаторами или мощными синхронными, а также и асинхронными электродвигателями сразу не исчезает, а некоторое время поддерживается. Величина напряжения может быть достаточной для срабатывания АЧР, а частота снижается за счет уменьшения скорости вращения электродвигателя. Это в первую очередь относится к быстроедействующим очередям АЧР: АЧР I, спецочереди и защитной очереди АЧР. АЧР II сработать не успевает, так как имеет значительные выдержки времени. При разработке аппаратуры АЧР напряжение, при котором реле АЧР еще работает, стремятся сделать по возможности более низким для предотвращения его отказа при больших дефицитах мощности сопровождающихся “лавинной напряжением”. Это еще более увеличивает опасность ложной работы АЧР.

В практике эксплуатации применяются специальные блокировки, предотвращающие ложное срабатывание АЧР в рассматриваемом режиме. На рис. 10.23,б показана одна из таких схем, в которой плюс на контакт РЧ реле частоты АЧР подается через контакт блокирующего реле направления мощности РМ. Реле направления мощности, включенное в цепи трансформатора связи с энергосистемой (рис. 10.23, а), реагирует на направление активной мощности. При наличии связи с энергосистемой, когда подстанция потребляет активную мощность, реле направления мощности держит свой контакт замкнутым, как показано на рис. 10.24, б, разрешая действовать АЧР. После отделения подстанции от питающей сети активная мощность по трансформатору проходить не будет или будет направлена в сторону шин высшего напряжения. При этом реле направления мощности разомкнет свой контакт и снимет плюс с контакта реле частоты, предотвращая ложное срабатывание АЧР. При наличии на подстанции значительной нагрузки, мало изменяющейся в зависимости от времени суток и дня недели реле мощности может быть заменено токовым реле.

Применяются и другие способы блокировки АЧР от неправильной работы при снижении напряжения. К ним относится блокировка по скорости снижения частоты, широко применяемая в “Киевэнерго”. Дело в том, что при самых тяжелых авариях частота в системе снижается медленнее, чем это происходит при снятии напряжения с двигателей. На устройствах совмещенной АЧР I – АЧР II для блокировки используются сами измерительные органы АЧР: Уставка по частоте АЧР II больше чем АЧР I. Реле времени пускается при срабатывании измерительного органа АЧР II и останавливается при срабатывании ИО АЧР I. Зависимость между скоростью снижения частоты и уставками АЧР выглядит следующим образом:

$$dF = \frac{f_{II} - f_I}{t}$$

В этой формуле dF – скорость изменения частоты, f_{II} – уставка по частоте АЧР II, f_I – уставка по частоте АЧР I, t – время между срабатыванием ИО АЧР II и АЧР I.

Выдержка времени на реле определяется по формуле:

$$t_{\text{от}} = \frac{f_{II} - f_I}{dF} \quad (10.14)$$

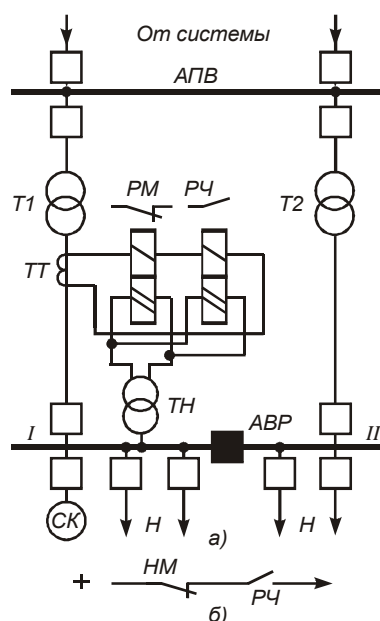


Рис. 10.23. Предотвращение срабатывания АЧР при отключении подстанции с синхронным компенсатором или синхронными электродвигателями:

а – схема подстанции; б – блокировка АЧР

Уставки АЧР II и АЧР I заданы исходя из режимных соображений, уставку по времени блокировки определяется по формуле 10.14 исходя из скорости снижения частоты 4 Гц в сек.

В Донбасской и Днепровской энергосистемах, имеющих значительное количество заводов, оснащенных крупными электродвигателями, такое решение оказалось неприемлемым ввиду низкой скорости снижения частоты. Поэтому там широко применяется метод взаимной блокировки между АЧР разных секций: АЧР двух секций сработает, если сработали оба ИО АЧР.

При отсутствии блокировки для исправления ложного действия АЧР можно применить АПВ после АЧР (см. п 10.3.3). Такой метод рекомендуется директивными материалами. Однако он не всегда эффективен, так как в условиях длительной работы при пониженной частоте частота в сети может быть ниже уставки ЧАПВ.

10.3.3. Автоматическое включение потребителей после АЧР

Для ускорения восстановления питания потребителей, отключенных при срабатывании АЧР, применяется специальный вид автоматики – АПВ после АЧР (или ЧАПВ). Устройство ЧАПВ срабатывает после восстановления частоты в энергосистеме и дает импульс на включение отключенных от АЧР потребителей.

Устройство ЧАПВ является весьма эффективным средством автоматики, ускоряющим восстановление питания потребителей, отключавшихся действием АЧР. Поэтому ЧАПВ целесообразно применять везде, где установлена АЧР. В первую очередь ЧАПВ следует выполнять на подстанциях с ответственными потребителями, на подстанциях без постоянного обслуживающего персонала, с дежурством на дому, далеко расположенных от места размещения оперативно-выездных бригад.

Действие ЧАПВ должно осуществляться при частоте 49,5–50 Гц. Начальная уставка по времени ЧАПВ принимается равной 10–20 сек, конечная – в зависимости от конкретных условий. Минимальный интервал по времени между смежными очередями ЧАПВ в пределах энергосистемы или отдельного узла – 5 сек. Мощности нагрузки по очередям ЧАПВ обычно распределяются равномерно. Очередность подключения потребителей к ЧАПВ – обратная очередности АЧР, т. е. к последним очередям АЧР подключаются первые очереди ЧАПВ.

Доля нагрузки, подключаемой к ЧАПВ, в каждом конкретном случае должна определяться с учетом местных условий: возможности повторного снижения частоты в отделившихся на изолированную работу районах, перегрузки линий электропередачи, замедления восстановления параллельной работы действием АПВ с улавливанием синхронизма, автоматическому запуску гидрогенераторов, запуску газовых турбин и т. д.

Не следует забывать также о необходимости корректировки неправильной работы быстродействующих очередей АЧР.

ЧАПВ имеет существенное отличие от обычного АПВ, заключающееся в том, что оно не пускается сразу после отключения, а должно работать после восстановления частоты до величины называемой уставкой ЧАПВ по частоте. Это происходит при частоте 49,5–50 Гц, когда в энергосистеме образовался резерв мощности, позволяющий включить дополнительную нагрузку. В некоторых случаях принимается

решение о работе с пониженной частотой, и фидера включаются вручную или посредством средств телемеханики.

10.3.4. Аппаратура, применяемая для АЧР

Реле частоты **РЧ-1** производства ЧЭАЗ(г.Чебоксары, Россия). Общая погрешность реле АЧР может достигать 0,25 Гц, диапазон напряжений при котором работает реле составляет **0,2÷1,3 $U_{ном}$** . С помощью специальных методов настройки погрешность реле можно довести до 0,1 Гц и менее при условии сохранения внешних условий: температура, влажность, форма кривой напряжения. Уход частоты срабатывания возможен также из-за старения деталей. На указанном реле в настоящее время выполнена большая часть устройств АЧР. На одном реле может быть выполнено АЧР и ЧАПВ, для чего имеется два входа, переключая которые можно включить либо одну либо другую уставку реле. В виду недостаточной точности работы РЧ-1, не удовлетворяющей современным требованиям к устройствам АЧР, в настоящее время эти реле вытесняются новыми микроэлектронными и микропроцессорными устройствами АЧР.

В настоящее время для выполнения функции АЧР обычно используются встроенные функции в микропроцессорные устройства.

Для простых схем АЧР может использоваться упрощенное малогабаритное микропроцессорное реле типа **УРЧ-3**, содержащее три отдельных реле частоты, каждое из которых имеет свою уставку срабатывания и возврата по частоте и по времени (заменяет три традиционных реле РЧ-1, шесть реле времени и соизмеримо с ними по стоимости), потребляющее при питании от цепи контролируемого напряжения мощность не более 4 Вт (меньше чем одно реле РЧ-1). Устройство обеспечивает точность отработки уставок $\pm 0,005$ Гц в диапазоне температур окружающей среды от минус 40°С до плюс 55°С при изменении напряжения питания в диапазоне $\pm 80\%$ от $U_{ном}$. Наличие встроенного частотомера, светодиодной сигнализации обеспечивают визуальный контроль за работой устройства. Удобный пользовательский интерфейс позволяет при помощи кнопок управления и встроенного жидкокристаллического минидисплея без вспомогательной аппаратуры (ГТЧ, частотомер, милисекундомер и др.) быстро выставить и легко контролировать уставки всех реле. Малое собственное потребление УРЧ позволяет питать его не только от цепей оперативного тока (= или ~ 220 В) но и от цепей контролируемого напряжения ~ 100 В. Устройство позволяет выполнить на нем три очереди АЧР, например, АЧР-I, АЧР- II, САЧР, ЧАПВ, а так же блокировку по скорости снижения частоты.

10.3.5. Схемы АЧР и ЧАПВ

На рис. 10.25, а приведена схема совмещенных АЧР I и; АЧР II. Действие АЧР осуществляется с помощью реле частоты **РЧ1**, промежуточного реле **РП1** и выходного реле **РП2**.

Устройство АЧР II выполняется с помощью реле частоты **РЧ2** и реле времени **РВ1**. Сигнализация срабатывания АЧР I и АЧР II выполняется с помощью указательных реле **РУ1** и **РУ2** соответственно. При выполнении АЧР только одного вида (АЧР I или АЧР II) соответствующая часть реле исключается из схемы.

С целью экономии реле частоты во многих случаях для осуществления совмещенной АЧР используются специальные схемы, в которых предусматривается переключение уставки одного реле частоты.

Одна из таких схем приведена на рис.10.25,б. В схеме АЧР используется одно реле частоты **РЧ** типа РЧ1, на измерительных элементах которого настроены уставки, соответствующие АЧР I и АЧР II. В нормальном режиме до срабатывания **РЧ** замкнут контакт **РП2.1** двухпозиционного реле типа **РП8**, чем обеспечивается готовность к действию обоих измерительных элементов.

После изменения частоты до уставки АЧР II замкнется контакт **РЧ** и реле **РП1** контактом **РП1.1** подаст плюс на верхнюю обмотку **РП2**, которое, переключив свои контакты, выведет из действия измерительный элемент с уставкой АЧР II. Если частота понизилась до уставки АЧР I, контакт **РЧ** при этом не разомкнется или, разомкнувшись кратковременно, замкнется вновь, после чего с небольшим замедлением сработает промежуточное реле **РП3** и подаст импульс через указательное реле **РУ1** на выходное промежуточное реле **РП5**. На этом закончится работа схемы.

Если частота не снизится до уставки АЧР I, схема будет продолжать работать. Реле времени **РВ1**, сработав "при замыкании контакта **РП2.3**, будет самоудерживаться через свой мгновенный замыкающий контакт **РВ1.1**. Спустя выдержку времени, установленную на проскальзывающем контакте **РВ1.2**, будет подан плюс на нижнюю обмотку реле **РП2**, и оно переключит свои контакты, вновь вводя в действие измерительный элемент с уставкой АЧР II. В течение всего времени, пока не замкнется проскальзывающий контакт **РВ1.2**, схема будет готова к действию на отключение без выдержки времени в случае снижения частоты до уставки АЧР I.

После замыкания проскальзывающего контакта **РВ1.2** и переключения реле **РП2** цепь отключения от АЧР I будет выведена и в работе останется только АЧР II. После переключения **РП2** сработают вновь **РЧ** (если частота будет ниже уставки срабатывания АЧР II) и **РП1** и запустится реле времени **РВ2**, которое, доработав, через указательное реле **РУ2** подаст плюс на выходное реле схемы **РП5**. Промежуточное реле **РП4**, обмотка которого включена параллельно обмотке реле **РВ1**, будет держать своим контактом **РП4.1** разомкнутой цепь верхней обмотки реле **РП2**, предотвращая его повторное срабатывание.

Возврат схемы в исходное положение осуществляется после срабатывания выходного реле *РП5*, которое разомкнет контакт *РП5.1* в цепи обмоток реле *РВ1* и *РП4*. В случае, если схема не подействует на отключение вследствие восстановления частоты в энергосистеме выше уставки АЧРII и возврата реле *РЧ*, возврат схемы будет осуществлен шунтированием обмотки *РВ1* по цепи: упорный контакт *РВ1.3* – замыкающий контакт *РП1.3* – замыкающий контакт *РП2.4*. Выдержка времени АЧРII в рассматриваемой схеме определяется суммой выдержек времени, установленных на *РВ2* и на проскальзывающем контакте *РВ1.2*.

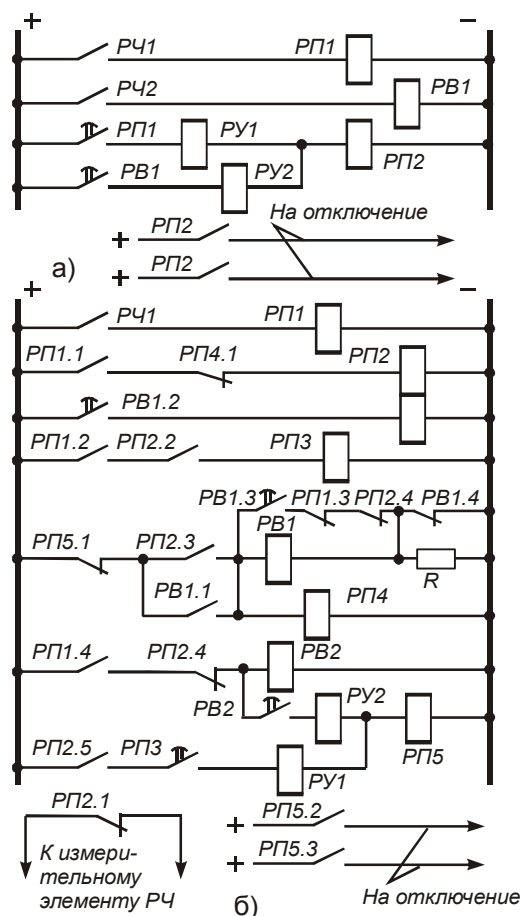


Рис. 10.25. Схемы АЧРI и АЧРII: а – с двумя реле частоты; б – с одним реле частоты и с переключением уставки

На рис. 10.26. приведена схема одной очереди АЧР с ЧАПВ. В схеме используется одно реле частоты, уставку срабатывания которого автоматически переключается.

При снижении частоты до уставки срабатывания соответствующей очереди АЧР сработает реле частоты *РЧ* и запустит реле времени *РВ1*. После того как замкнется контакт реле времени, сработают промежуточные реле *РП1* и *РП2* и отключат группу потребителей. Одновременно замыкающий контакт *РП1.2* введет в работу измерительный элемент реле частоты типа *РЧ1* с уставкой, соответствующей уставке ЧАПВ. Теперь, после ввода в работу указанного измерительного элемента, контакт реле частоты разомкнется лишь после того, как частота в энергосистеме восстановится до значения новой уставки, равной 49,5–50 Гц.

Реле *РП1* при срабатывании замыкает также своим контактом *РП1.2* цепь обмотки промежуточного реле *РП3*, которое срабатывает и самоудерживается.



На линиях, оснащенных устройствами электрического АПВ, они могут быть использованы для осуществления ЧАПВ, при этом пуск АПВ должен осуществляться после восстановления частоты до величины, соответствующей уставке ЧАПВ.

Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) и частотное АПВ (ЧАПВ) на микропроцессорных устройствах

При использовании на отходящих линиях 6–10 кВ, 35 кВ устройства защиты MiCOM P123, МРЗС-05 или Сириус возможно выполнение функций АЧР и ЧАПВ без использования дополнительной аппаратуры на фидере. Для реле УЗА10 используется вход 2.

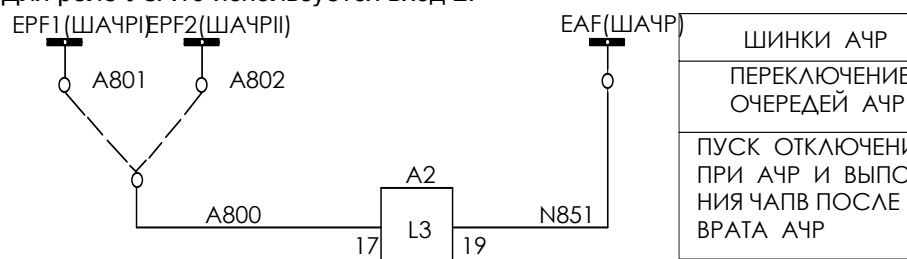


Рис. 10.27. Входная цепь АЧР

При необходимости оперативного вывода АЧР (ЧАПВ) в цепь оптовхода $L3$ реле защиты А2 включается переключатель, например ПЕ-011 УЗ.

Вход L3 (Вх. 2) программируется для внешнего пуска АПВ с действием на реле отключения. Выдержка времени ЧАПВ равна времени первого цикла АПВ фидера. Работа ЧАПВ будет происходить после возврата АЧР и снятия напряжения с оптовхода L3 (Вх. 2). Если это время недопустимо мало (выдержка времени ЧАПВ велика), применяется схема с дополнительной выдержкой времени (рис. 10.30).

Промежуточное реле включения от АПВ (ЧАПВ) и по локальной сети, вывод АПВ (ЧАПВ) и дистанционного включения

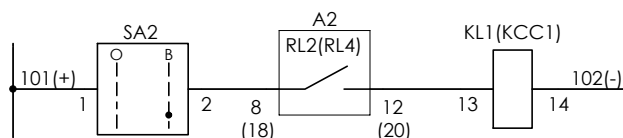


Рис.10.28. Выходная цепь АПВ (ЧАПВ)

При использовании устройства защиты MICOM P122 (MICOM P220) возможно выполнение только функции АЧР (отсутствует устройство АПВ). Входная цепь выполняется по Рис. 10.27 с действием на реле отключения RL1.

EPF1(ШАЧРI) EPF2(ШАЧРII) -EAF(ШАЧР)

A801 A802

A800 R1 KL1 13 14 N851

ШИНКИ АЧР
ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ОЧЕРЕДЕЙ АЧР
РЕЛЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ ПРИ АЧР И ПОДГО- ТОВКИ ЧАПВ

[illegible]

При работе АЧР срабатывает реле KL1, отключает выключатель и подключает зарядную цепь конденсатора C1. После восстановления частоты и возврата АЧР через размыкающие блок-контакты выключателя и реле KL1 подается напряжение на оптовход L3. С выбранной выдержкой времени срабатывает выходное реле RL7 (для MICOM P220 это может быть реле RL2-RL5), от заряженного конденсатора C1 кратковременно срабатывает реле KL2 и подает команду на включение выключателя при ЧАПВ.

Для выполнения АЧР используется реле MICOM P922 или MX3VIC30A фирмы ALSTOM, цепи напряжения которых подключаются к трансформаторам напряжения секции шин 6(10) или 35 кВ.

Для исключения ложного срабатывания АЧР при отключении напряжения на секции шин 6(10) кВ с синхронными электродвигателями или асинхронными электродвигателями с компенсирующими конденсаторами пуск АЧР выполняется только при одновременном снижении частоты на обеих секциях.

32

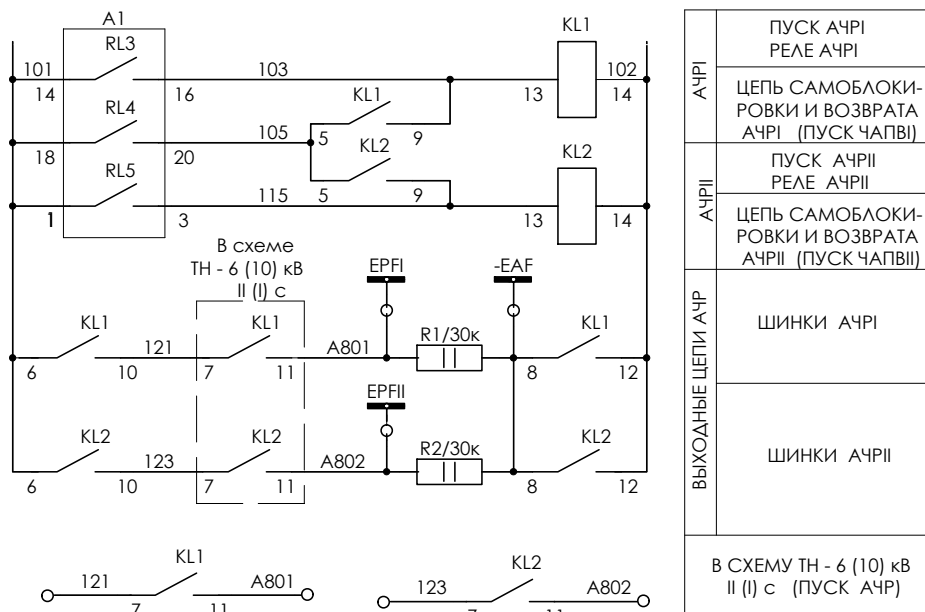


Рис. 10.32 Организация шинок АЧР

10.3.6. Принцип косвенного измерения скорости снижения частоты с использованием реле УРЧ-3

1) Расчетно-практические данные объединенной энергосистемы (ОЭС), используемые при выборе уставок для измерения скорости

Дополнительная автоматическая разгрузка (ДАР) по скорости снижения частоты (ССЧ) применяется в районах с возможным возникновением дефицитов мощности более 40 % от потребления, создающих скорость снижения частоты более 2,0 Гц/с, при которой срабатывание обычной АЧР неэффективно.

Принцип косвенного измерения скорости снижения частоты

Схема соединений выходных контактов (0) двух реле частоты (f_1, f_2) приведена на рис. 10.33.

цепь наличия скорости снижения частоты

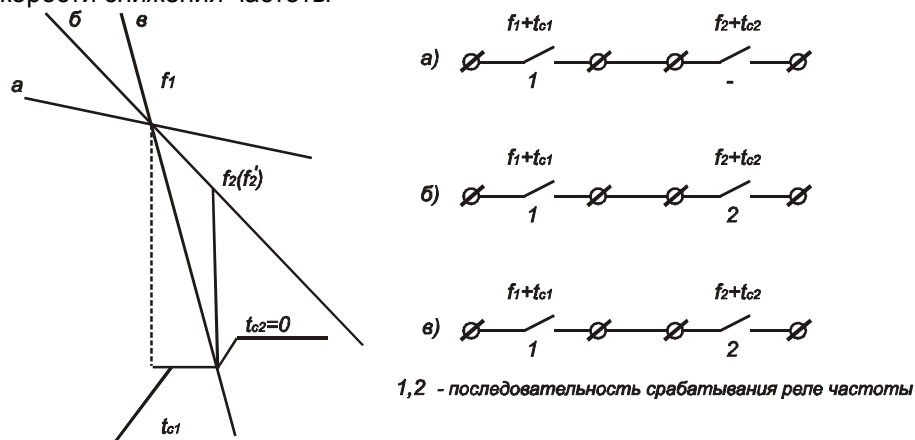


Рис. 10.33. схемы соединения двух реле частоты

а) при дефиците мощности, меньшем заданной уставки скорости снижения частоты;

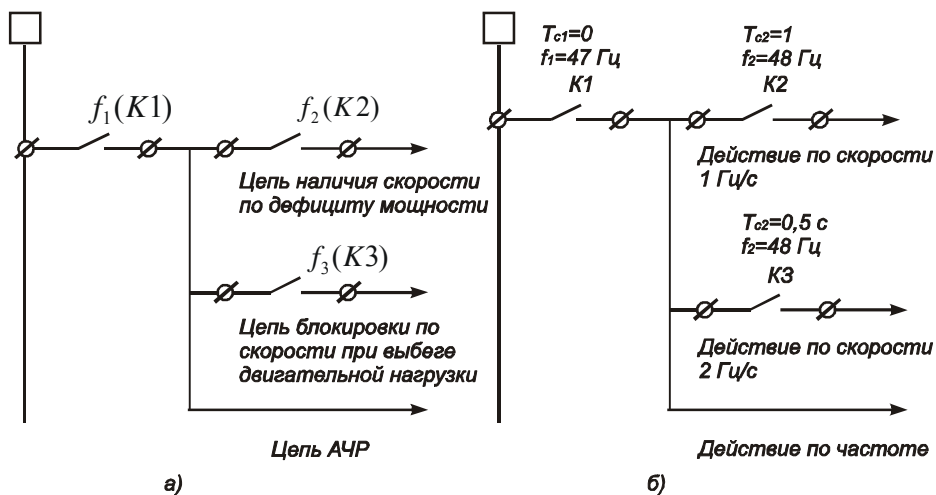
б) при дефиците мощности, равном уставке скорости снижения частоты;

в) при дефиците мощности, большем уставки скорости снижения частоты;

$f_1 + t_{c1}$ - уставки срабатывания по частоте f_1 и уставки времени t_{c1} первого реле частоты;

$f_2 + t_{c2}$ - уставки срабатывания второго реле по частоте f_2 и уставки времени $t_{c2} = 0$ секунд.

Примеры схем соединений выходных контактов реле (K1, K2, K3) приведены на рис. 10.34.



На практике начальная скорость снижения частоты определяется по дефициту активной мощности при исходной частоте сети $f_0=50$ Гц и эквивалентной постоянной механической инерции нагрузки $t_n=3$ с (таблица 1).

Таблица 1

Зависимость начальной скорости снижения частоты от дефицита активной мощности энергосистемы

Обобщенный момент инерции энергосис- темы		Рг – дефицит генерирующей мощности, %													
		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	
		Скорость снижения частоты. Гц/с													
Т _{тг} , с	10	0,42	0,65	0,91	1,19	1,50	1,84	2,22	2,65	3,12	3,67	4,28	5,00	5,83	
	12	0,36	0,57	0,79	1,04	1,32	1,62	1,96	2,34	2,78	3,27	3,85	4,51	5,30	

Для отстройки от аварий по частоте в ОЭС уставки по скорости снижения частоты должны отстраиваться от максимально возможных аварий с дефицитом мощности, не превышающим 15 - 20 % от потребления и $Vf_{min} = (0,5 - 0,9)$ Гц/с, что является нижним пределом уставок по ССЧ.

Задание уставок ДАР по скорости снижения частоты

Уставки ДАР по скорости снижения частоты выбираются в пределах 1,1 - 1,7 Гц/с, а для повышения надежности срабатывания они могут быть и меньше.

Уставка запуска схемы косвенного измерения скорости снижения частоты f_1 в зависимости от дефицита мощности может быть ниже, равна или выше уставок АЧР-1, т.е. в пределах 49,5 - 48,9 Гц.

Уставка интервала времени измерения двух частот равна 0,2 - 0,3 с (t_{c1}).

Разность между уставкой частоты (f_1) пуска и конечной уставкой срабатывания (f_2) в зависимости от уставки времени (t_{c1}) определяется по таблице 2: по вертикали - время (t_{c1}), по горизонтали - скорость снижения частоты.

Таблица 2

$Vf, Гц/с$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
t_{c1}, c										
0,2	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34
0,3	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51

Например: для обеспечения уставки скорости снижения частоты, равной 1,2 Гц/с, при уставке пуска $f_1=49,20$ Гц и уставке времени $t_{c1}=0,3$ с, получим конечную уставку частоты срабатывания:

$$f_2 = 49,20 - 0,36 = 48,84 \text{ Гц}$$

Уставка частоты возврата f_2 должна быть на 0,2 Гц выше уставки срабатывания (f_2).

Для экономии в качестве уставки пуска ($f_1 + t_{c1}$) используется рабочая уставка АЧР, а конечная уставка срабатывания (f_2) выбирается по таблице 2 и устанавливается на свободном реле частоты УРЧ-3.

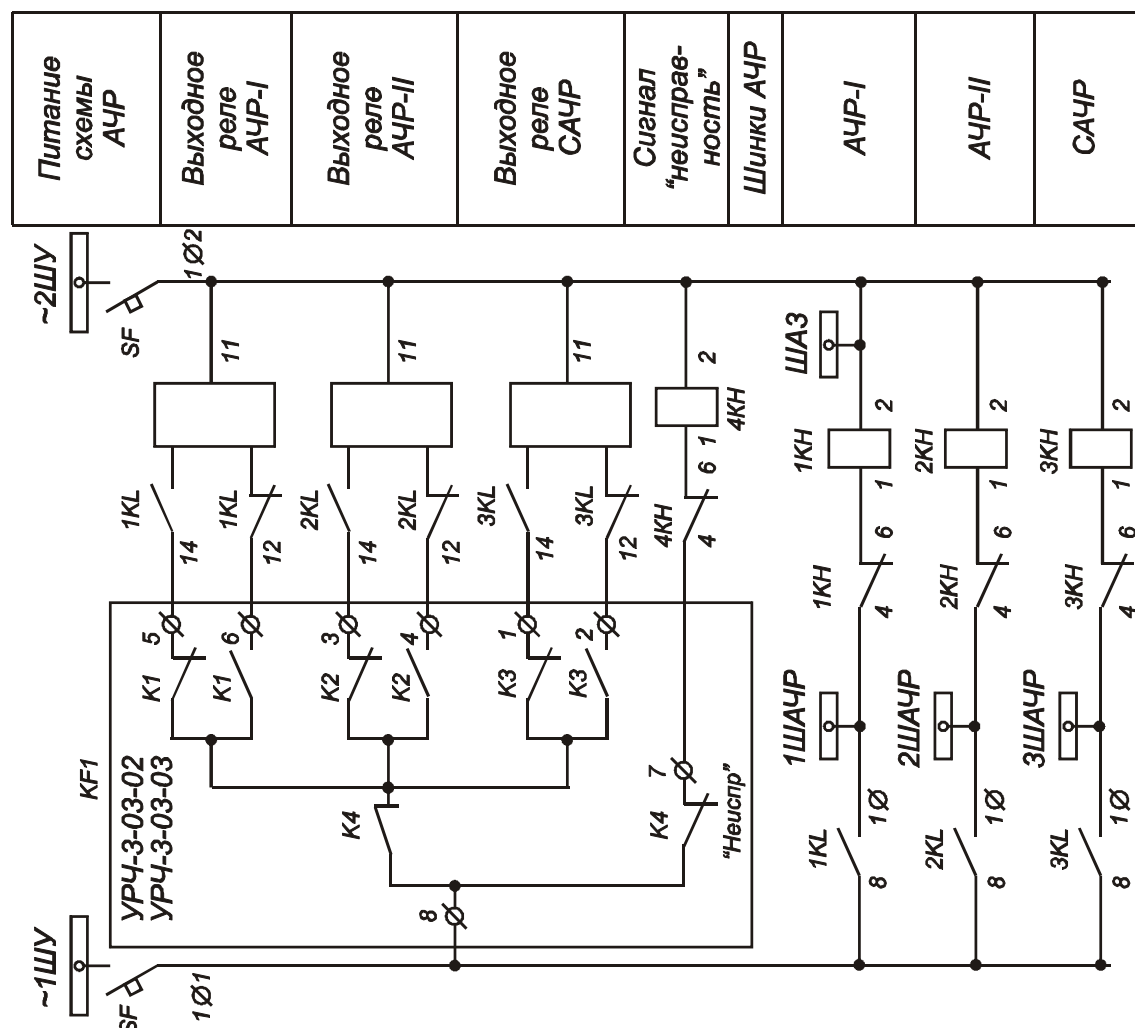
Блокировка реле по скорости снижения частоты

Блокировка реле частоты по скорости снижения частоты могут устанавливаться для предотвращения их срабатывания при выбеге двигательной нагрузки.

В зависимости от преобладания асинхронной или синхронной нагрузки уставка по скорости снижения частоты может составлять 2,5-4,0 Гц/с при уставке времени 0,2-0,3 с (t_{c1}).

Разность между уставкой частоты пуска (f_1) и конечной уставкой срабатывания (f_2) в зависимости от уставки времени (t_{c1}) определяется по таблице 3 (по вертикали - время (t_{c1}), по горизонтали - скорость снижения частоты).

Таблица 3



Питание схемы АЧР	Выходное реле АЧР-I	Выходное реле АЧР-II	Выходное реле САЧР	Сигнал "неисправ- ность"	Шинки АЧР	АЧР-I	АЧР-II	САЧР
-------------------------	---------------------------	----------------------------	--------------------------	--------------------------------	-----------	-------	--------	------

Цепи напряжения устройства АЧР	Цепи сигнализации	Работа или неисправ- ность АЧР	Лампа "Блиker не поднят"
---	----------------------	--	--------------------------------

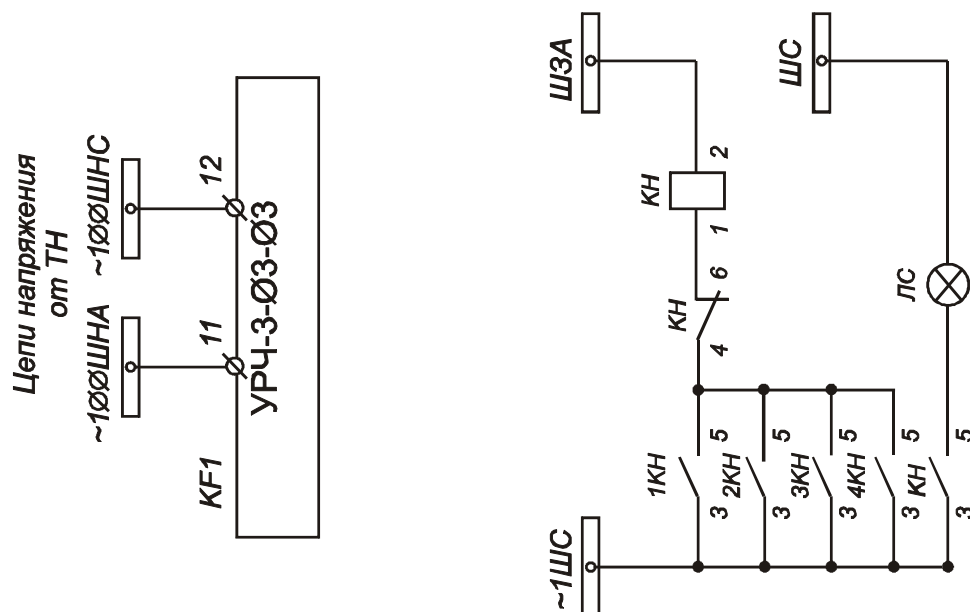


Рис. 10.36. Схема АЧР на устройстве УРЧ-3.

10.4. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

10.4.1. Назначение регулирования напряжения

Работа всех потребителей электроэнергии зависит от нормального уровня напряжения. Наиболее экономично и надежно потребитель работает при определенном оптимальном значении напряжения. Отклонение уровня напряжения от нормального значения, как в сторону понижения, так и повышения приводит к ухудшению условий работы оборудования, снижению производительности механизмов, сокращению срока службы электрооборудования, браку продукции.

Так, например, при снижении напряжения на 10% вращающий момент асинхронных электродвигателей уменьшается на 19%, соответственно уменьшается и производительность приводимого механизма. Резко снижается производительность электропечей, время плавки в которых увеличивается в 1,5—2 раза при снижении напряжения на 5%. В осветительных установках снижение напряжения на 5% вызывает снижение на 17,5% световой отдачи.

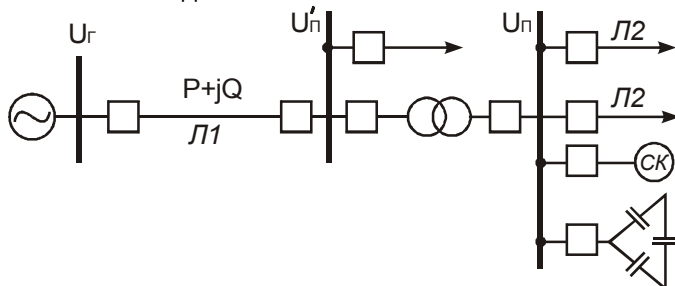


Рис. 10.37. Схема сети, поясняющая принципы регулирования напряжения

Не менее вредные последствия имеет и чрезмерное повышение напряжения, следствием чего является ускоренный выход из строя осветительных ламп, нагревательных установок и другого электрооборудования. Так, например, срок службы осветительных ламп накаливания сокращается на 15% при повышении напряжения на 1% и в 3 раза при повышении напряжения на 10%.

Согласно Правилам устройства электроустановок, за исключением наиболее ответственных установок, допускается отклонение напряжения у потребителей не более чем на $\pm 5\%$.

Напряжение на шинах низшего напряжения приемной подстанции (рис. 6-1) равно

$$U_n \approx \left(U_z - \frac{PR + QX}{U'_n} \right) \frac{1}{n_T} \quad (10.15)$$

где

- U_n — напряжение на шинах высшего напряжения приемной подстанции;
- U_z — напряжение на шинах генератора;
- R, X — активное и реактивное сопротивления питающей линии и трансформатора;
- P, Q — активная и реактивная мощности, передаваемые по линии;
- n_T — коэффициент трансформации силового трансформатора.

На основании выражения (10.15) можно сделать заключение, что изменить напряжение у потребителя U_n можно следующими способами: изменением напряжения на шинах генератора; изменением коэффициента трансформации n_T трансформатора, установленного на подстанции; изменением реактивной мощности Q , передаваемой по линии, что может осуществляться регулированием возбуждения синхронных компенсаторов или электродвигателей, а также включением и отключением батарей конденсаторов, установленных на подстанции.

В настоящей главе рассматривается регулирование напряжения с помощью трансформаторов и батарей конденсаторов, установленных на приемной подстанции.

10.4.3. Автоматические регуляторы коэффициента трансформации трансформаторов

Схемы автоматического регулирования напряжения на подстанциях изменением коэффициента трансформации трансформаторов применяются практически на всех трансформаторах, оснащенных устройствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН). Согласно требованиям ПТЭ, все трансформаторы должны работать с введенной автоматикой РПН, а отказ от применения автоматики должен быть обоснован. Причиной отказа может быть неисправность РПН, толчковая нагрузка, приводящая к недопустимо частому переключению РПН, истощение ресурса переключателя, необходимость его ревизии или замены масла.

С 1974 г. отечественные заводы, выпускающие трансформаторы, комплектовали их автоматическими регуляторами напряжения (АРНТ) типов АРТ-1Н (БАР) а затем АРТ-1М. Для переключения отпайек обмоток трансформаторов использовались приводы РПН, самыми распространенными из которых являются отечественные ПДП-1, ПДП-4У, встроенный быстродействующий РНТА-35, и болгарские МЗ-2, МЗ-4.

Электромоторный привод РПН предназначен для ступенчатого переключения отпайек обмоток трансформатора. Привод обеспечивает такие режимы управления:

- местное (кнопками на приводе);

- дистанционное (ключом со щита управления);
- автоматическое (устройством АРНТ);
- ручной (механическое переключение при помощи специальной рукоятки на приводе).

Ручное управление РПН применяется при его наладке, при отсутствии питающего напряжения, или при неисправности электромоторного привода. Из условий безопасности персонала, ручное управление приводом РПН под напряжением запрещается.

Чаще всего, привод РПН имеет 9 или 19 ступеней регулирования. Как правило, переключаются отпайки обмотки ВН, тогда максимальному количеству витков, т.е. минимальному напряжению соответствует «1-е» положение привода РПН, а минимальному количеству витков и максимальному напряжению соответствует «п-е». У 2-х обмоточных трансформаторов 110/10кВ подстанций «глубокого ввода» «1-е» положение привода РПН соответствует максимальному напряжению, а «п-е» - минимальному. Текущее положение РПН определяется по лимбу указателя положения на приводе, или по электрическому указателю положения на щите управления. При получении команды «Прибавить» («Убавить») привод РПН начинает переключение, при этом замыкаются контакты контроллера, обеспечивающие переключение на одну ступень, и выдающие для блока автоматики сигнал «Идет переключение».

Необходимо отметить, что при длительной эксплуатации РПН, в результате износа деталей его привода, загрязнения магнитопроводов и замедления отпадания установленных в нем пускателей, привод может не остановиться при переключении на одну ступень, а продолжать переключения до конечного положения и далее. При этом регулируемое напряжения может выйти за допустимые пределы (9,5 – 11,5кВ для шин 10кВ), что опасно для электрооборудования потребителей. Устройства АРТ-1Н и АРН-1М такую неисправность привода РПН не выявляют. Для исключения опасного повышения (понижения) напряжения при неисправности привода РПН, необходимо предусматривать специальную защиту, действующую на его остановку путем отключения питающего напряжения. Защита может быть выполнена как отдельное устройство, или же входить в состав устройства АРНТ, как, например, у устройства РС83-В4. Признаком неисправности привода РПН может быть не нормальное повышение (понижение) напряжения, отсутствие паузы между циклами и т.д.

устройство автоматического регулирования напряжения трансформатора (АРНТ), например, типа **АРТ-1Н**, предназначено для автоматического управления электроприводами переключателя отпайки на обмотках силового трансформатора (РПН) импульсным, или непрерывным сигналом. АРНТ имеет возможность выполнения внешнего изменения уставки по напряжению, контроля исправности тракта регулирования и электроприводов РПН, блокировки и сигнализации при их неисправности, группового регулирования несколькими приводами РПН, контроля и блокировки при рассогласовании РПН параллельно работающих трансформаторов.

Структурная схема устройства АРНТ представлена на рис. 10.38. Она содержит три основных функциональных звена: тракт регулирования с двумя каналами управления (*Убавить* — на понижение напряжения, *Прибавить* — на повышение напряжения); блок управления и контроля БУК, генератор тактовых импульсов ГТИ с элементом изменения периода следования тактовых импульсов.

В состав тракта регулирования входят следующие элементы: сумматор 1, датчик тока 2, элементы формирования и изменения зоны нечувствительности и уставки АРНТ, измерения и разделения каналов с преобразователями 3; элементы времени 4 и 5; элементы запрета 6 и 7, исполнительные элементы 8 и 9.

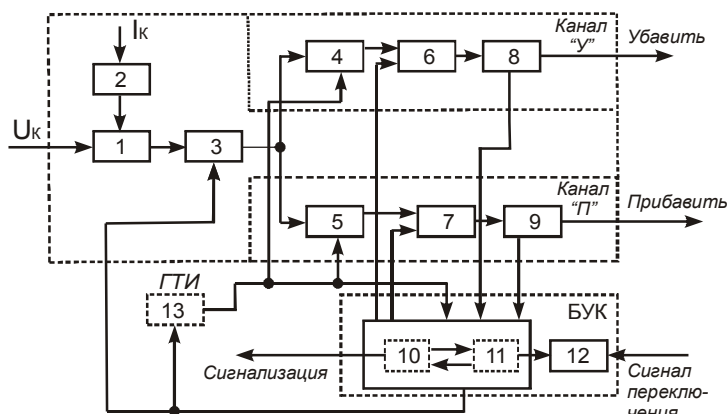


Рис. 10.38 Структурная схема автоматического регулятора напряжения, устанавливаемого на трансформаторах

Контролируемое напряжение U_k вырабатывается в сумматоре 1, входное напряжение U_n суммируется с напряжением U_{mk} от датчика тока 2 (осуществляется токовая компенсация). Благодаря токовой компенсации обеспечивается так называемое «встречное регулирование», необходимое для поддержания напряжения на шинах у потребителя. Без токовой компенсации АРНТ поддерживал бы постоянное напряжение в том месте, где он установлен, т. е. на шинах питающей подстанции. Напряжение на шинах потребителя $U_{потр}$ отличается от напряжения на шинах низшего напряжения питающей подстанции U_n на величину падения напряжения в линии и будет изменяться при изменении тока нагрузки, проходящего по линии — $I_{нагр}$. (см. рис.10.39).

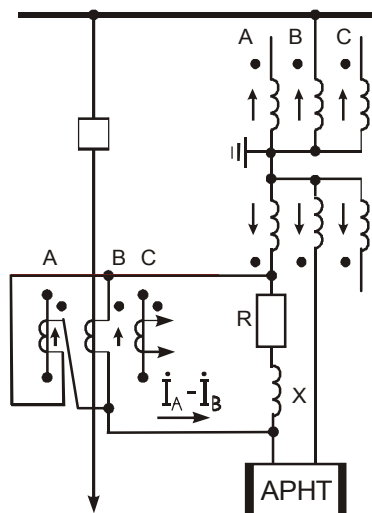


Рис. 10.39. Схема подключения токовой компенсации к измерительному органу АРНТ

$$U_{номр} = U_n - I_{нагр} \cdot Z_n \quad (10.16)$$

где

Z_n – сопротивление линии Л2.

Чем больше ток нагрузки, проходящий по линии Л2, тем ниже окажется напряжение у потребителя. Для того чтобы поддерживать постоянным напряжение у потребителя, измерительный орган АРНТ и дополняется токовой компенсацией (см. рис. 10.35).

При включенной токовой компенсации (сопротивления R и X на рис. 10.35) к измерительному органу АРНТ будет подаваться напряжение $f_{рег}$, равное:

$$\dot{U}_{рег} = \frac{\dot{U}_n}{k_U} - \frac{\dot{I}_{нагр}}{k_I} Z_{мк} \quad (10.17)$$

где

$Z_{мк}$ – сопротивление токовой компенсации;

k_I , k_U – коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения соответственно.

Если с учетом коэффициентов трансформации тока и напряжения выбрать сопротивление $Z_{мк}$ таким, чтобы удовлетворялось соотношение

$$Z_n = Z_{мк} \frac{k_U}{k_I}$$

можно записать, что напряжение, подаваемое на регулятор равно:

$$U_{рег} \cdot k_U = U_n - I_{нагр} \cdot Z_n \quad (10.18)$$

Следовательно, на измерительный орган АРНТ будет подаваться напряжение, пропорциональное напряжению на шинах потребителя $U_{номр}$, и автоматика будет поддерживать постоянное напряжение на шинах именно у потребителя. При этом напряжение на шинах подстанции будет изменяться в зависимости от тока нагрузки, как показано на рис.10.40. Наклон характеристики $U_n = f(I_{нагр})$ будет тем больше, чем больше сопротивление $Z_{лк}$.

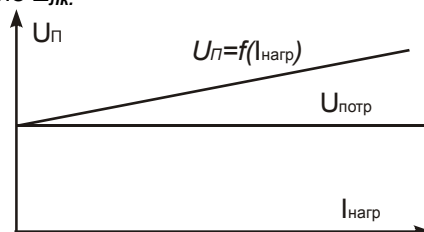


Рис. 10.40 Характеристика АРНТ с токовой компенсацией

Элемент 3 (см. рис. 10.38) обеспечивает преобразование сигналов, поступающих от сумматора, формирование зоны нечувствительности, изменение уставки АРНТ и выдачу сигналов на элементы времени 4 и 5. Уставка регулятора по напряжению регулируется ступенями от 85 до 110% номинального через 1%. Регулятор имеет зону нечувствительности, необходимую для предотвращения излишних переключений РПН при небольших колебаниях напряжения. Уставки по зоне нечувствительности регулируются от 0 до 4% номинального напряжения.

С помощью элементов 4 и 5 создается выдержка времени на срабатывание (пределы регулировки 60–180 с для АРТ-1Н или 20–160 для АРТ-1М) и осуществляется задержка сброса накопленного времени для отстройки от кратковременных бросков контролируемого напряжения. В цепи каждого исполни-

тельного элемента 8 и 9, обрабатывающих команды *Убавить* и *Прибавить*, включены соответственно элементы запрета 6 и 7. Действие АРНТ прекращается элементами запрета при достижении приводными механизмами концевых положений, а также при неисправностях электроприводов и элементов схемы регулятора.

Управляющие команды на элементы запрета подаются от БУК, в состав которого входят три элемента: контроль исправности регулятора 10, контроль исправности электропривода 11 и фиксации сигнала "Переключение" электропривода 12. Одновременно с командами на запрет действия АРНТ БУК дает сигнал о наличии неисправности. Исправность электроприводов контролируется по результату выполнения команды управления ("Пошел" или "Не пошел") и по времени переключения ("Закончил" или "Застрел").

Блок управления и контроля управляет измерительным органом 3 и генератором тактовых импульсов (ГТИ) 13. При переключении электропривода РПН через элемент 3 БУК дает сигнал проверки и через исправный тракт регулирования выключает исполнительные элементы и одновременно дает команду на изменение периода следования тактовых импульсов ГТИ. По завершении цикла переключения электроприводами БУК, получающий сигнал через элемент 12, восстанавливает исходный период следования импульсов ГТИ и возвращает элемент 3 в исходное положение.

Генератор тактовых импульсов выдает в разные точки схемы АРНТ импульсы с определенной частотой, обеспечивая работу отдельных элементов схемы и задавая масштаб времени для оценки правильности последовательности и длительности действия разных элементов устройства. При снижении напряжения ниже границы зоны нечувствительности элемент времени 5 запускается и с установленной выдержкой времени срабатывает, выдавая сигнал на исполнительный элемент АРНТ. Аналогично будет работать АРНТ при повышении напряжения через элемент времени 4.

Если переключение электропривода задержится и закончится лишь после определенного такта, выдаваемого ГТИ, или совсем не произойдет, фиксируется его неисправность – "Застревание". Как уже отмечалось выше, с запуском электроприводов изменяется частота следования импульсов. Сохранение прежней частоты свидетельствует о неисправности в системе регулирования.

В случае параллельной работы двух и более трансформаторов АРНТ должен воздействовать одновременно на переключение всех РПН.

Для предотвращения прохождения больших уравнивающих токов в случае различия коэффициентов трансформации параллельно работающих трансформаторов предусматривается блокировка, отключающая действие АРНТ при рассогласовании РПН на одну ступень.

Автоматический регулятор напряжения АРТ-1Н

АРТ-1Н (БАР) контролирует:

- Исправность цепей контролируемого напряжения (~100 В от ТН);
- Исправность привода РПН;
- Исправность самого устройства.

При неисправности одного из контролируемых элементов БАР блокируется, и больше команд не выдает. Исправность цепей напряжения контролируется следующим образом. При выходе контролируемого напряжения за пределы «Зоны нечувствительности», ограниченной пределами $U_{уст. \pm 1/2}$ Узоны нечувствительности, БАР с заданной выдержкой времени выдает команду приводу РПН «Убавить» («Прибавить»). Получив команду, привод РПН начинает переключение и выдает сигнал «Идет переключение» для блока автоматики (замыкаются контакты контроллера в приводе РПН). Неполучение блоком БАР сигнала «Идет переключение» от привода, свидетельствует об неисправности привода. При этом БАР блокируется и выдает сигнал «Рассогласование». АРТ-1Н контролирует время цикла переключения, который должен закончиться за 10 сек (или 30 сек). Большинство типов приводов имеют время переключения менее 10 сек. Если привод РПН не закончил переключение за время допустимой длительности цикла, БАР блокируется, выдает сигнал «Застревание» и больше команд приводу не выдает. При получении от привода РПН сигнала «Идет переключение», в блоке автоматики происходит следующее:

- БАР расширяет зону нечувствительности до пределов допустимого уровня напряжения. При исправности цепей, уровень напряжения попадает в расширенную зону нечувствительности, и должны вернуться в исходное положение элементы каналов «Убавить» («Прибавить»). Невозврат элементов каналов свидетельствует об неисправности цепей контролируемого напряжения, или внутренних элементов БАР. При этом, БАР блокируется, и больше команд приводу не выдает. Так, например, отсутствие контролируемого напряжения сначала воспринимается БАРОм как то, что напряжение ниже «Зоны нечувствительности», и он выдает команду приводу РПН «Прибавить». Но так как при расширении «Зоны нечувствительности» уровень контролируемого напряжения не попадает в нее (напряжение равно 0), БАР блокируется.
- Тактовый генератор БАР переключается на выдержку времени, соответствующую допустимой продолжительности цикла переключения РПН. Завершение цикла переключения РПН (прекращение сигнала «Идет переключение») за время менее допустимого, свидетельствует об его исправности. Если переключение не закончится за допустимое время (контакты контроллера РПН не разомкнутся), БАР блокируется, выдает сигнал «Застревание», и больше команд приводу не выдает.

Таким образом, при неисправности регулятора или привода, БАР может выдать только одну ложную команду. Для разблокирования БАР необходимо нажать кнопку «Откл.блокировки». При отключении

цепей ТН для проверки, или при оперативных переключениях на подстанции, БАР блокируется и для его разблокировки требуется вмешательство обслуживающего персонала.

При переходе привода РПН в конечное положение «1-е» («п-е»), замыкаются конечные выключатели, запрещающие дальнейшие переключения привода и запрещающие блоку БАР регулирование в сторону «Убавить» («Прибавить»).

Для выполнения встречного регулирования напряжения на базе АРТ-1Н, применяется отдельный блок датчика тока ДТ.

Автоматический регулятор напряжения АРТ-1М

Выполненный на интегральных микросхемах регулятор напряжения трансформатора типа АРТ-1М работает аналогично БАР, но имеет некоторые особенности. Устройство содержит один или два встроенных датчика тока для встречного регулирования напряжения. В устройство встроены 4 малогабаритных реле-повторителя, используемые для гальванической развязки цепей подключаемых к АРТ-1М. Регулировка уставки «Зона, %» и точная регулировка «Уставка U» осуществляется плавно, при помощи переменных резисторов. Режим работы регулятора индицируется 5-ю светодиодами: «U», «+», «-», «Перекл.», «Блокир». При исчезновении контролируемого напряжения или его посадке ниже уровня 0,5–0,7U номинального, зажигается светодиод «U» и блокируется канал «прибавить» регулятора АРН-1М. При восстановлении нормального уровня напряжения, АРТ-1М разблокируется автоматически.

Регулятор РС83-В4

Фирмой «РЗА системз» разработано устройство автоматического регулирования напряжения типа РС83-В4 реализующее такие преимущества микропроцессорных устройств, как высокая точность и надежность устройства, индикация уровня контролируемого напряжения на мини дисплее, возможность работы в локальной сети устройств РЗА и телеуправление приводом РПН. В устройстве реализованы встроенные функции блокировки по току, компенсации влияния тока нагрузки, две группы уставок.

10.4.4. Порядок выбора уставок АРНТ

Выбор уставок приводится применительно к устройству АРТ1М. Для других устройств основные уставки выбираются аналогично.

1. Выбор уставки регулирования по напряжению. Производится исходя из режимных соображений. При этом исходят из режима минимальных нагрузок, при которых величина напряжения на шинах, а значит и у вблизи расположенных потребителей не должна превысить $1,05 U_{ном}$.

2. Выбор уставки токовой коррекции уровня регулируемого напряжения.

Как сказано выше, токовая коррекция необходима в случае работы регулятора в режиме встречного регулирования, когда требуется коррекция уровня регулируемого напряжения по току нагрузки одной или группы линий.

Выбор уставки токовой коррекции осуществляется по требуемой величине напряжения токовой коррекции, которая, в свою очередь, зависит от падения напряжения в линии при протекании по ней тока нагрузки.

Для выбора уставки токовой коррекции необходимо:

– при заданном токе нагрузки определить падение напряжения в линии между точкой подключения измерительного трансформатора напряжения, питающего вход регулятора, и точкой подключения потребителя электрической энергии (нагрузки), напряжение у которого должно поддерживаться в заданных пределах;

– разделить это напряжение на коэффициент трансформации измерительного трансформатора напряжения и полученное значение V установить по шкале “1 КОМПЕНС, V” – для первой уставки напряжения и по шкале “2 КОМПЕНС, V” – для второй уставки напряжения.

Проверяется напряжение на шинах, которое при использовании токовой коррекции не должно превышать $1,05 U_{ном}$ исходя из уровня напряжения у близко расположенных потребителей. При невыполнении такого условия изменяют уставку по п. 1. и опять проверяют напряжение с учетом коррекции. Необходимо добиться, чтобы напряжение у удаленных потребителей не снижалось ниже -5% а у ближайших повышалось выше 5%. Не следует забывать, что напряжение у потребителей можно корректировать путем изменения положения переключателей ПБН (анцапф) на трансформаторах потребителей в пределах $\pm 5\%$.

Оперативное изменение уставки регулирования с одного заранее выбранного значения на другое внешним релейным сигналом позволяет ввести программное регулирование напряжения по двухступенчатому графику, в частности, суточный график с уставками соответствующими режимам минимальной и максимальной нагрузки, или недельный график с уставками рабочего и выходного дня. Это может позволить избежать применения токовой коррекции, выбор уставок которой представляет значительные сложности.

1. Выбор ширины зоны нечувствительности.

Зона нечувствительности определяет величину отклонения напряжения от уставки, при которой регулятор не выдает команду на регулирование напряжения. Минимальная ширина зоны определяется необходимостью устранить возможность колебательного режима при регулировании напряжения. После изменения положения РПН на одно положение регулятор не должен выдать команду на регулирование

напряжения в обратную сторону. Поэтому после регулирования РПН на 1 ступень напряжение должно попасть в зону нечувствительности регулятора. Необходимо устанавливать ширину зоны нечувствительности больше значения ступени регулирования трансформатора с РПН. Рекомендуемый коэффициент запаса 1,3.

2. Выбор выдержки времени задержки команд управления.

Выдержка времени выбирается исходя из возможности и длительности кратковременных изменений напряжения при переменном характере нагрузки. Чем больше выдержка времени, тем меньше вероятность излишнего действия РПН а значит сокращается количество операций РПН, ресурс которого ограничен. Довольно часто устанавливают максимальное значение уставки по времени (160–180 с).

3. Выбор выдержки времени контроля исправности РПН.

Регулятор АРТ-1М поставляется с переключкой на плате формирователя, запаянной в положении 2–3, что соответствует времени контроля длительности цикла переключения 15 с. Эта величина вполне пригодна для большинства регуляторов. Если возможная длительность цикла больше этой величины, можно задать время контроля 30 с запаяв переключку в положение 1–3.

Время контроля исправности цепей запуска электроприводов РПН в регуляторе неизменно и составляет величину 0,6 сек независимо от типов применяемых РПН.

10.4.5. Управление батареями конденсаторов

В практике эксплуатации применяются различные схемы автоматики, управляющие батареей конденсаторов в зависимости от значения напряжения на шинах подстанции, тока нагрузки или направления реактивной мощности в линии. Все эти схемы по тому или иному признаку обеспечивают поддержание определенного, экономически выгодного, напряжения на шинах подстанции.

Применяются также схемы управления батареями конденсаторов по заранее заданной программе, например с помощью электрических часов ЭЧ. Как показано на рис.10.37, при замыкании контакта электрических часов ЭЧ, что происходит в установленное время, срабатывает реле времени РВ1, контакты которого замыкают цепь на включение выключателя конденсаторной батареи.

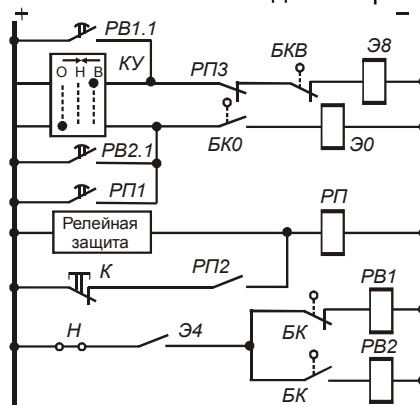


Рис. 10.41. Схема автоматики отключения и включения батареи конденсаторов с помощью электрических часов

по-

При включении выключателя переключается его блок-контакт БК, размыкая цепь обмотки реле РВ1 и замыкая цепь обмотки реле времени РВ2. Теперь уже при новом замыкании контакта ЭЧ, что должно произойти к тому времени суток, когда уменьшится потребление реактивной мощности с шин подстанции, сработает реле времени РВ2, и подаст импульс на отключение конденсаторной батареи. Поскольку контакт ЭЧ держится в замкнутом состоянии около 15 сек, в схеме рассматриваемой автоматики использовано два реле времени – РВ1 и РВ2 с уставками 9–10 сек.

Очевидно, что при таких выдержках времени каждое замыкание контакта ЭЧ будет сопровождаться только одной операцией включения или отключения конденсаторной батареи. Второе же реле времени, которое начнет работать после переключения вспомогательных контактов выключателя, не успеет доработать за время, оставшееся до размыкания контакта ЭЧ.

Цепь включения батареи конденсаторов размыкается контактом РП.3 промежуточного реле РП, которое срабатывает при действии релейной защиты конденсаторной установки и самоудерживается. Питание автоматики оперативным током осуществляется от трансформатора собственных нужд, установленного на шинах подстанции.