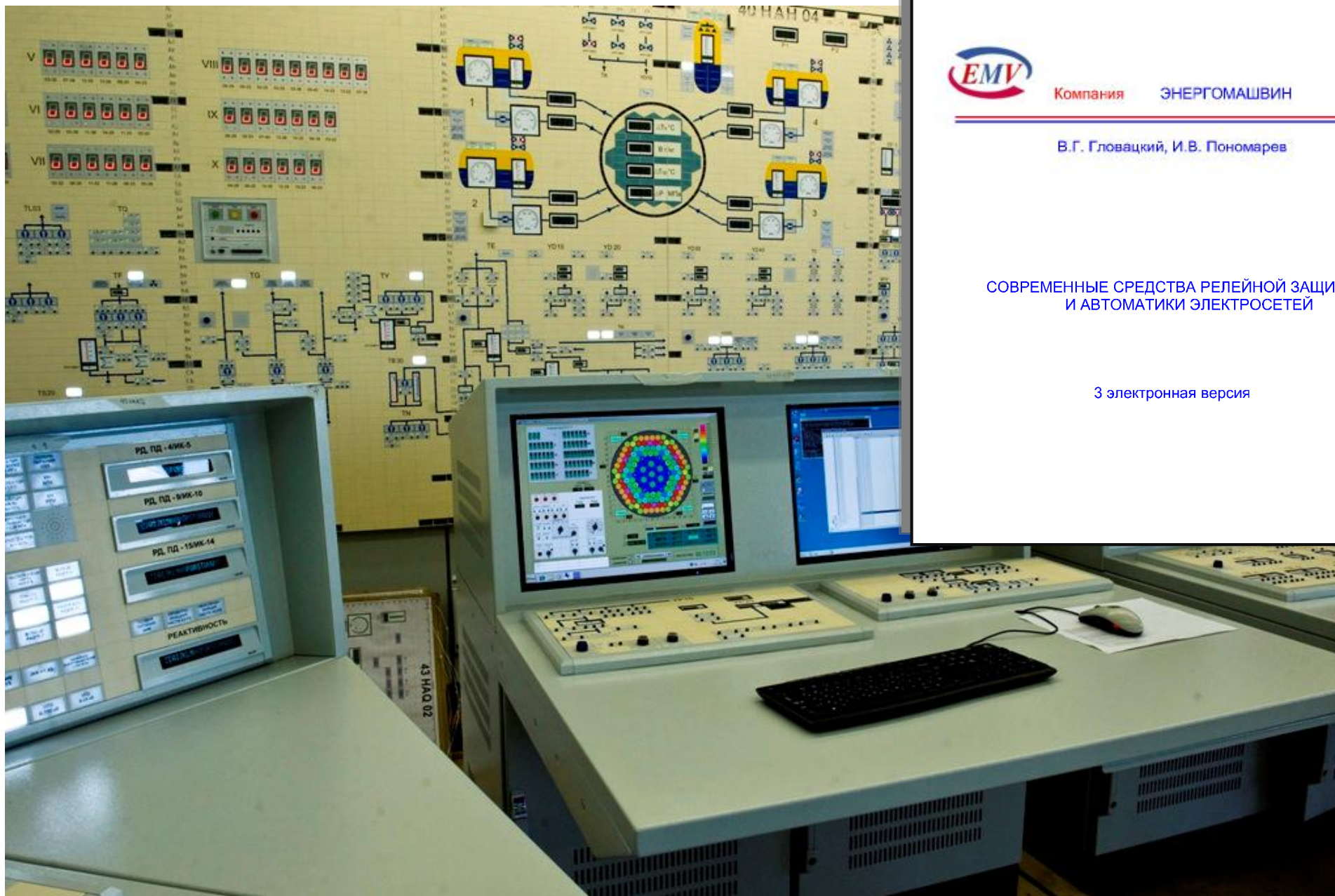


Релейная защита и автоматика систем электроснабжения

Лекция № ____

Основы автоматики электросетей

Составил: Кузнецов Д. Б.



Компания ЭНЕРГОМАШВИН

В.Г. Гловацкий, И.В. Пономарев

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
И АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

3 электронная версия

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).

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ (АПВ).

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 дли-

тельного 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, устойчивыми, 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.

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:

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.

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.

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.

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.

Схемы АПВ должны автоматически обеспечивать готовность выключателя, на который действует АПВ, к новому действию после его включения.

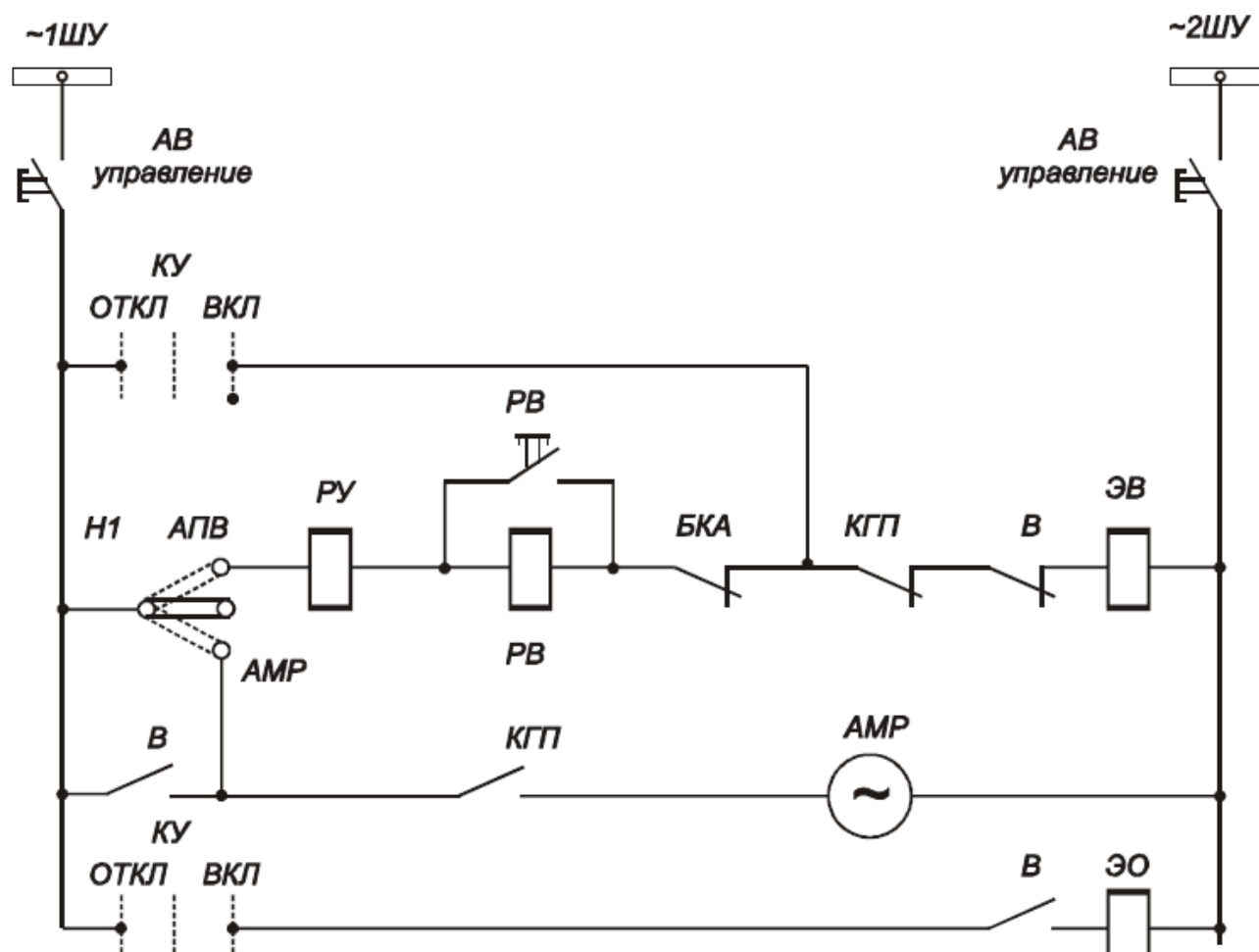
Электрическое АПВ однократного действия

Для наглядности, рассмотрим работу устройства АПВ на примере простой схемы для выключателя 6(10) кВ 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 после-

довательно 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 указательного 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.



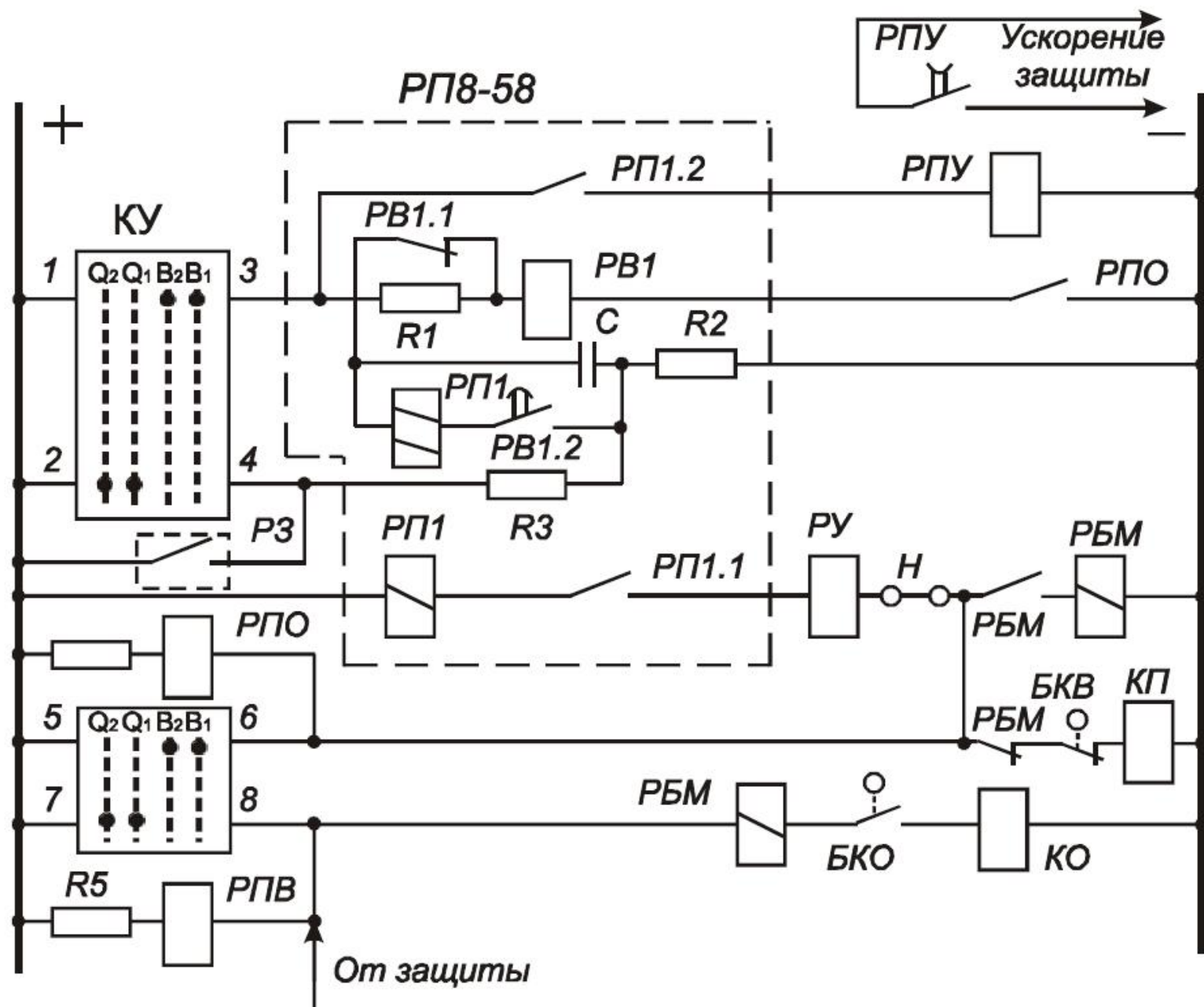


Накладка контактная НКР-3 предназначена для установки в цепях релейной защиты и автоматики в качестве вспомогательного устройства. Имеет 3 фиксированных положения. Особенность конструкции позволяет организовывать точку подключения схемы с видимым разрывом, что является положительным моментом при обслуживании оперативных цепей.

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 ключем 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 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 МКСВФ, у которого предусмотрена фиксация положения последней операции. Поэтому после операции включения ключ остается в положении «Включено» (B_2), а после операции отключения - в положении «Отключено» (O_2). Когда выключатель включен и ключ управления находится в положении «Включено», к конденсатору **C** 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. При включенном выключателе реле положения «Отключено» РПО, осуществляющее контроль исправности цепей включения, током не обтекается 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. 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 обтекается 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 срабатывает только реле РПО, а реле РВ1 и РП1 не срабатывают. 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.

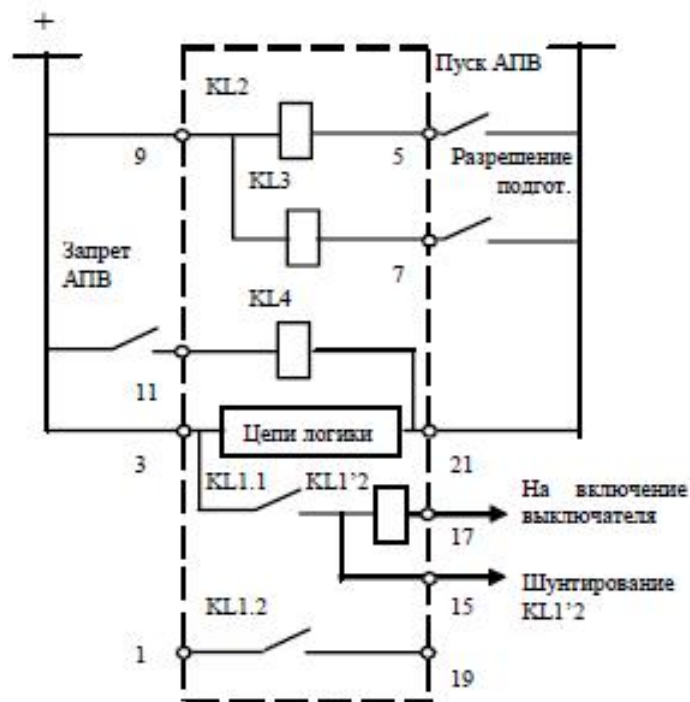
Для предотвращения многократного включения выключателя на устойчивое КЗ, что могло бы иметь место в случае застревания контактов реле РП1 в замкнутом состоянии, в схеме управления (рис. 10.2) устанавливается специальное промежуточное реле РБМ типа РП-232 с двумя обмотками: рабочей последовательной и 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.

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 отсут-



ствует, 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 **ВВ** 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 ("Чебоксары, Россия) выпускает микроэлектронное реле РПВ-01. Характеристики реле РПВ-01 существенно не отличаются от РПВ-58, но оно имеет меньшие габариты и вес.



Выбор уставок однократных АПВ для линии с односторонним питанием

Выдержка времени АПВ на повторное включение выключателя определяется двумя условиями:

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

$$t_{1-АПВ} = t_{гп} + t_{зан}$$

где

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

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

- 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.

$$t_{1-АПВ} = t_{д} + t_{зан}$$

t_d - время деионизации, составляющее 0,1-0,3 сек.

При выборе уставок принимается большее значение из полученных.

Двукратное АПВ

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 С1 и С2 и реле времени РВ1 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 выключатели восстанавливается.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВВОД РЕЗЕРВА (АВР).

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

единственным 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.

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..

Питание подстанции А (рис. а) осуществляется по рабочей линии Л1 от подстанции Б. Вторая линия Л2, приходящая с подстанции В, является резервной и находится под напряжением (выключатель ВЗ

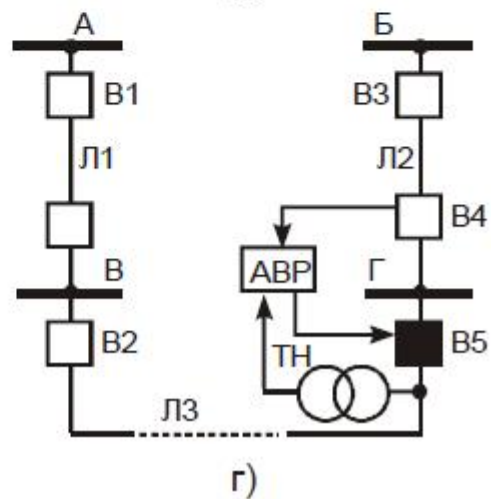
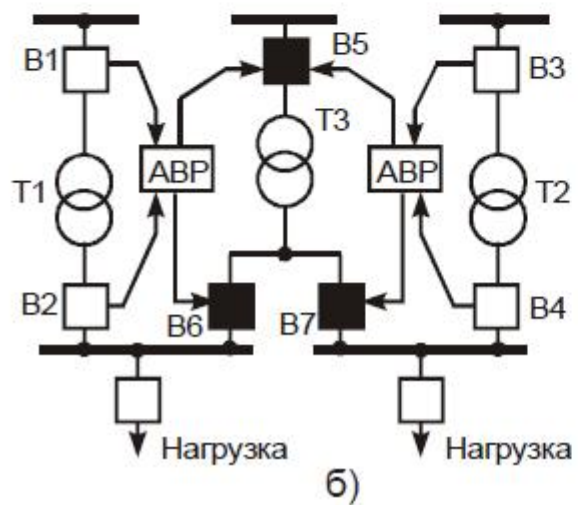
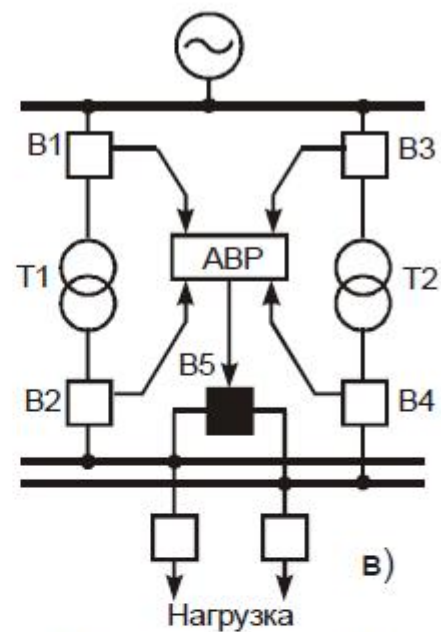
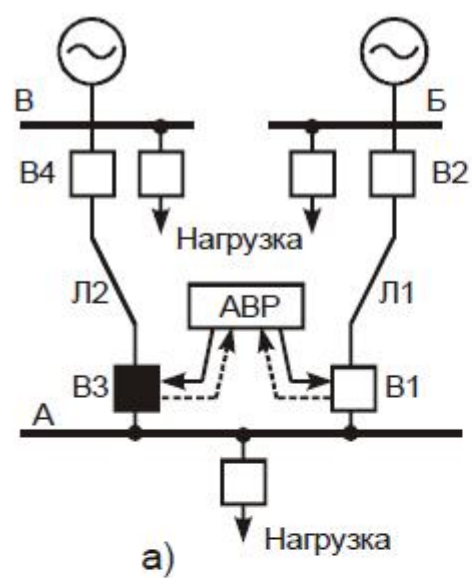
нормально отключен). При отключении линии Л1 автоматически от АВР включается выключатель В3 линии Л2, и таким образом вновь подается питание потребителям подстанции А.

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.

Питание электродвигателей и других потребителей собственных нужд каждого агрегата электростанции осуществляется обычно от отдельных рабочих трансформаторов (Т1 и Т2 на рис. 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.

Трансформаторы Т1 и Т2 являются рабочими, но параллельно работать не могут и поэтому со стороны низшего напряжения включены на разные системы шин (рис. 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.

Подстанции В и Г (рис. г) нормально питаются радиально от подстанций А и Б соответственно. Линия ЛЗ 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 ЛЗ. При отключении линии Л1 подстанция В и вместе с ней линия ЛЗ 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.



Основные требования к схемам АВР

Все устройства АВР должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- 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 распреустройствах. При отключении от максимальной защиты трансформаторов питающих шины 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.
- Для того чтобы уменьшить длительность перерыва питания потребителей, включение резервного источника питания должно производиться возможно быстрее, сразу же после отключения рабочего источника.
- Действие АВР должно быть однократным для того, чтобы не допускать нескольких включений ре-

зервного источника на неустранившееся КЗ.

- 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.

- 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.

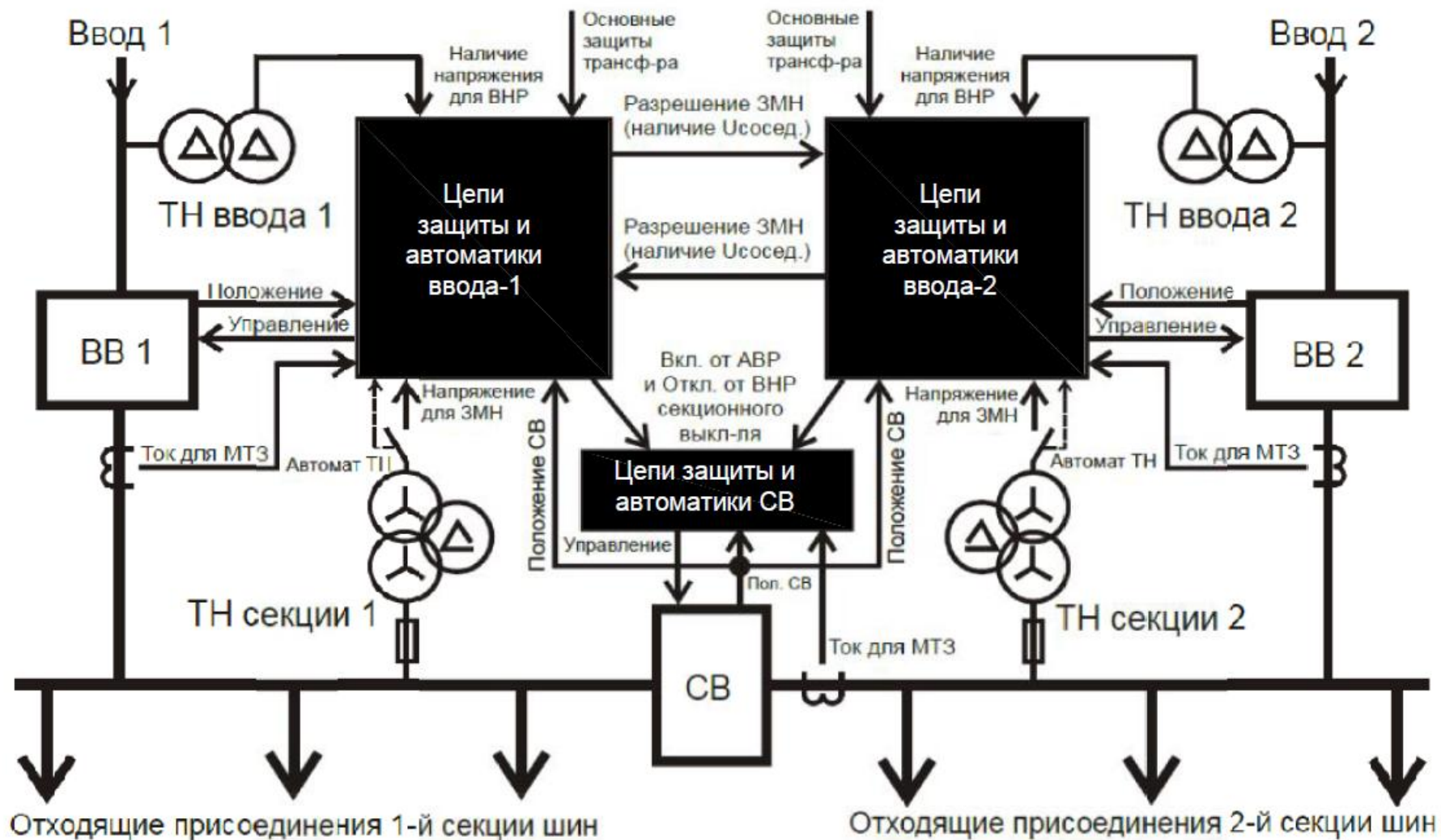
- Для ускорения отключения резервного источника питания при его включении на неустранившееся КЗ должно предусматриваться ускорение действия защиты резервного источника после АВР. Это особенно важно в тех случаях, когда потребители, потерявшие питание, подключаются к другому источнику, несущему нагрузку. 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° .

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.

Принцип формирования АВР и АВНР



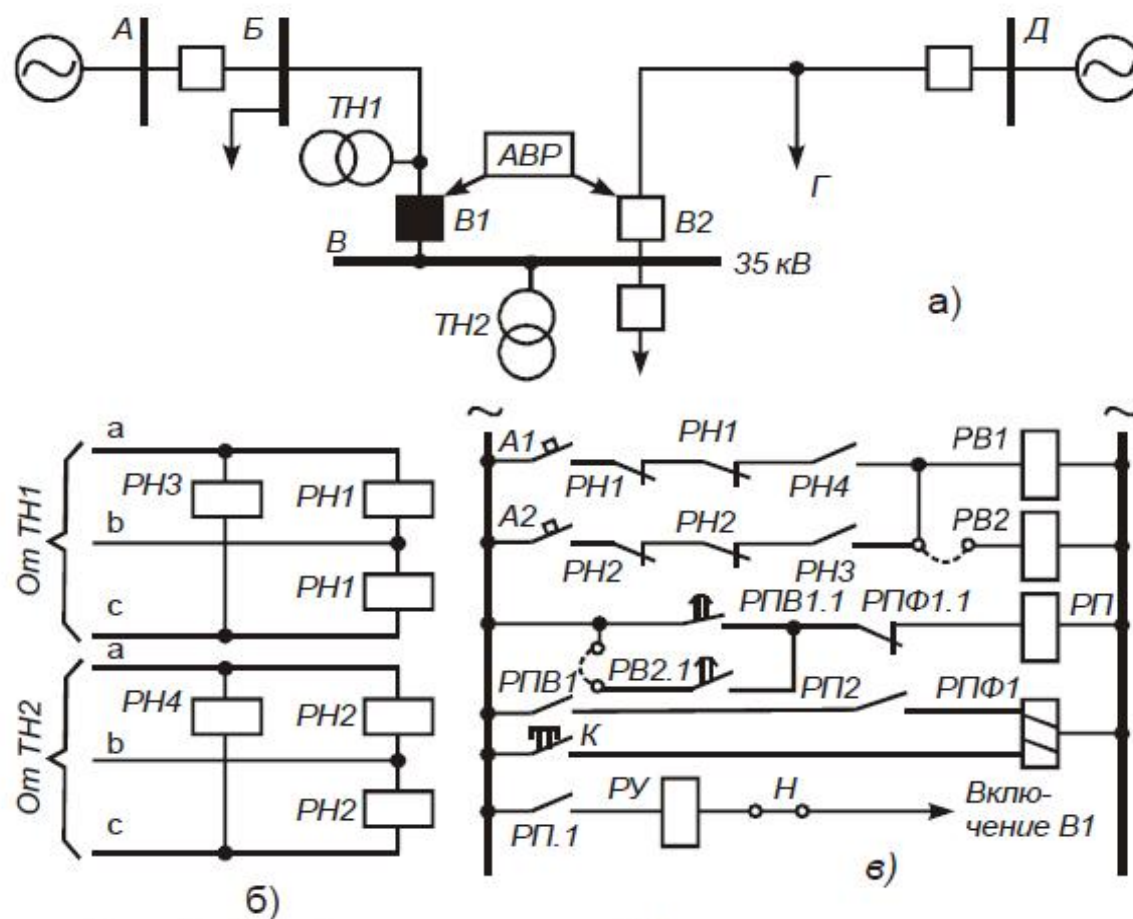
Сетевые АВР.

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. Устройство АВР двустороннего действия обеспечивает восстановление питания участков сети, расположенных слева и справа от подстанции В, в случае нарушения питания от подстанций А и Д 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 А1 и А2, 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 А и Д. 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 В1, и замыкания

контактов реле положения «Включено» РПВ1, фиксирующего завершение процесса включения В1, 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 К. Эту операцию 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.



Расчет уставок АВР.

а) Реле однократности включения;

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

$$t_{oe} = t_{вкл} + t_{зап}$$

где

$t_{вкл}$ - время включения выключателя резервного источника питания; если выключателей два, то выключателя, имеющего большее время включения; $t_{зап}$ - время запаса, принимаемое равным 0,3-0,5 сек.

б) Пусковой орган минимального напряжения

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения при выполнении пускового органа по схеме 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:

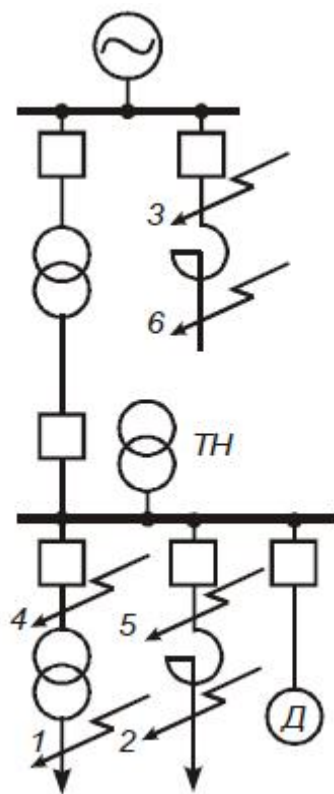
$$U_{cp} = U_{ост.н} / (k_n \cdot k_U)$$

$$U_{cp} = U_{зан} / (k_n \cdot k_U)$$

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) и расчет самозапуска электродвигателей. Принимается меньшее значение напряжения срабатывания из полученных по формулам. В большинстве случаев обоим условиям удовлетворяет напряжение срабатывания, равное:

$$U_{cp} = (0,25 - 0,4) U_{ном}$$

где

$U_{ном}$ - номинальное напряжение электроустановки.

Выдержка времени пускового органа минимального напряжения должна быть равна:

$$t_{no} = t_1 + \Delta t$$

$$t_{no} = t_2 + \Delta t$$

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.

г) Реле контроля наличия напряжения на резервном источнике питания

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

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

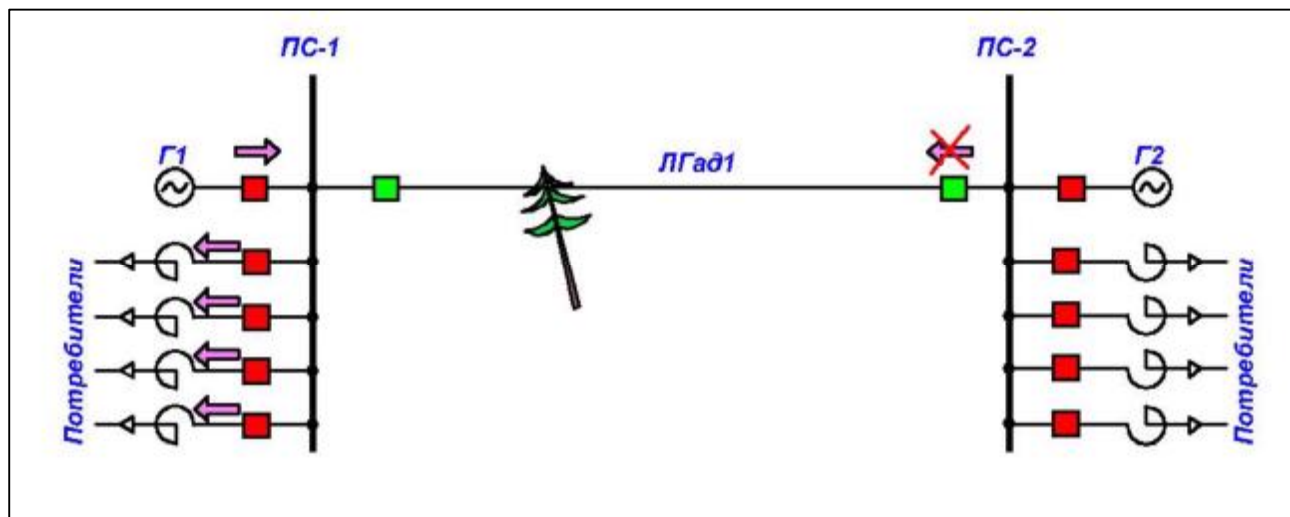
где

$U_{\text{раб min}}$ - минимальное рабочее напряжение;

k_n - коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2;

k_ϵ - коэффициент возврата реле.

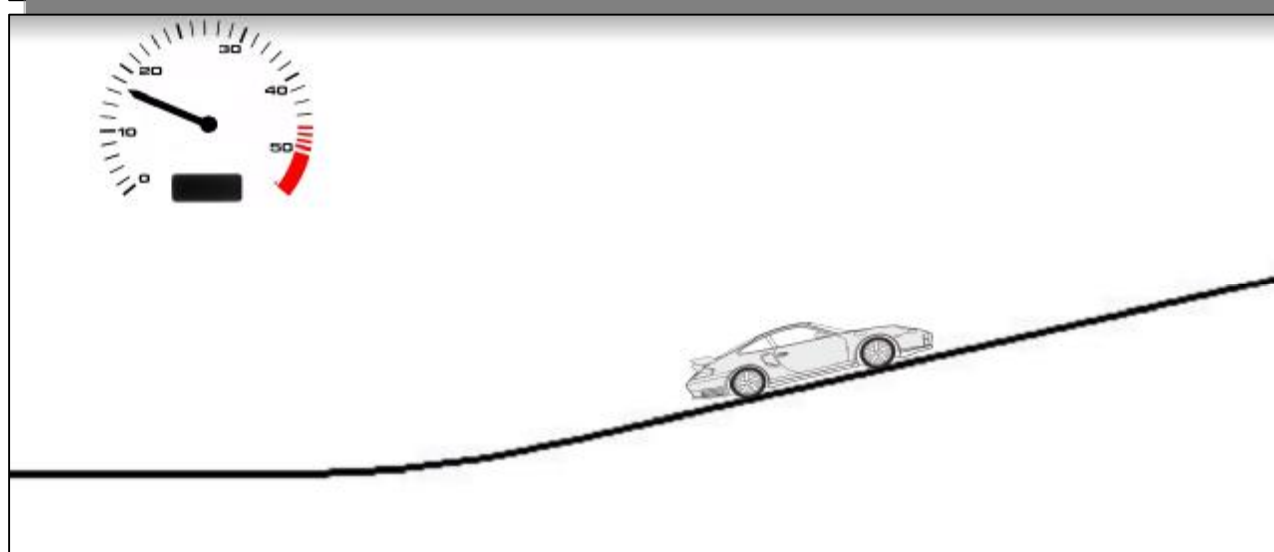
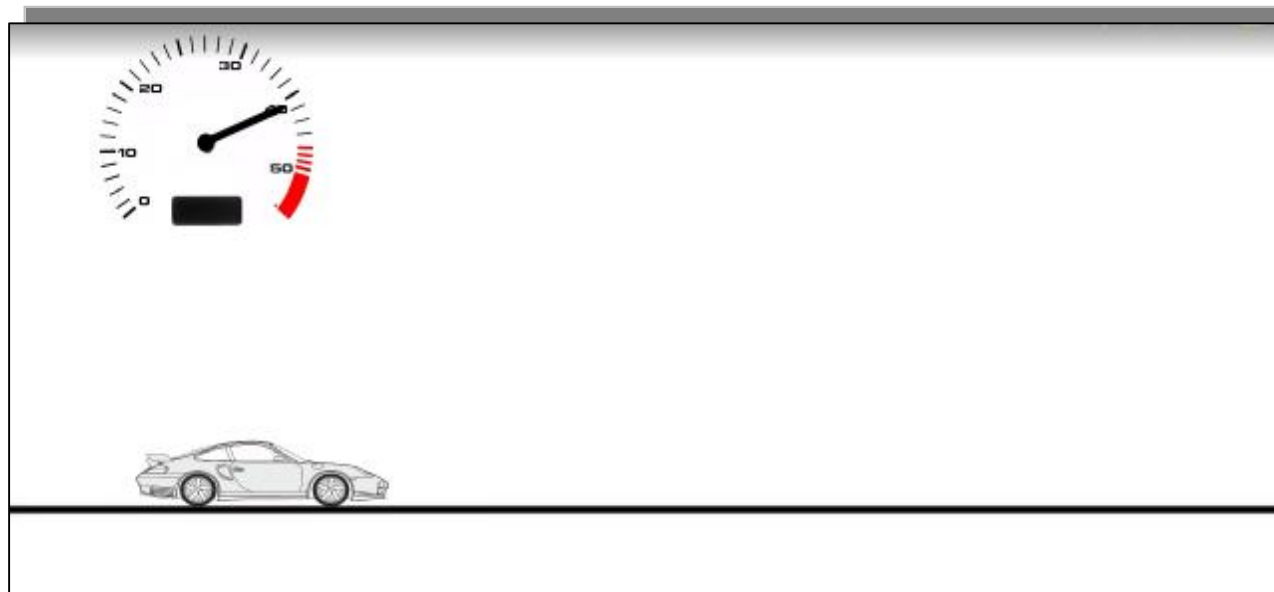
АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТНАЯ РАЗГРУЗКА (АЧР)



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 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 - «лавина частоты», который может привести к полному расстройству работы энергосистемы.

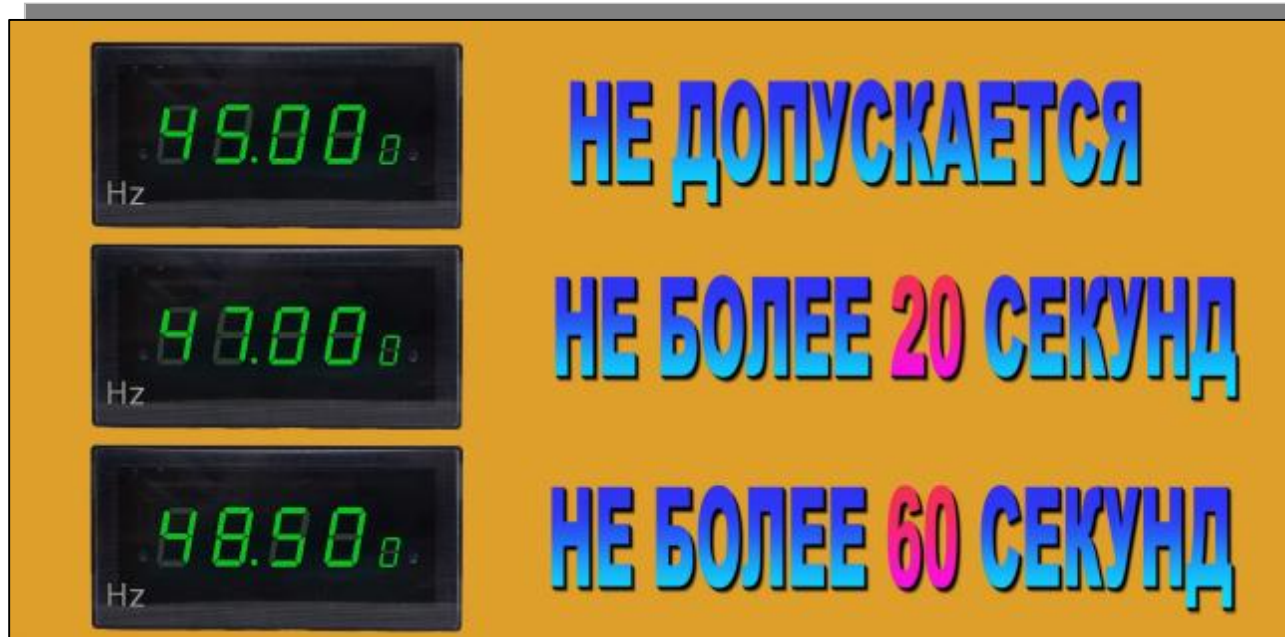
Следует также отметить, что современные крупные паровые турбины не могут длительно работать при низкой частоте из-за опасности повреждения их рабочих, лопаток. Дело в том, что каждый ряд лопаток имеет собственную частоту резонанса, все группы лопаток имеют разные размеры и конструкторам турбин приходится 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 расстройства 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 электроосветительные приборы и другие установки, имеющие чисто активную нагрузку, не зависит от частоты и при ее снижении остается постоянным. Потребление же другой группы потребителей - электродвигателей переменного тока при уменьшении частоты снижается. Чем больше в энергосистеме доля нагрузки первой группы, тем больше понизится частота при возникновении одинакового дефицита активной мощности. Нагрузка потребителей второй группы будет в некоторой степени сглаживать эффект снижения частоты, поскольку одновременно будет уменьшаться потребление мощности электродвигателями.

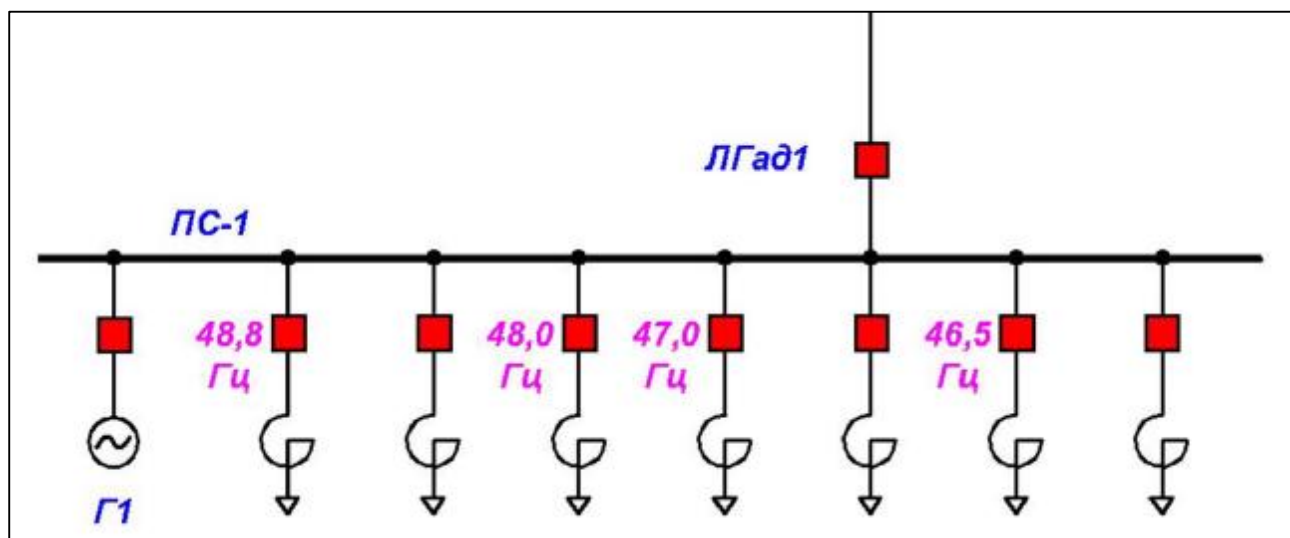
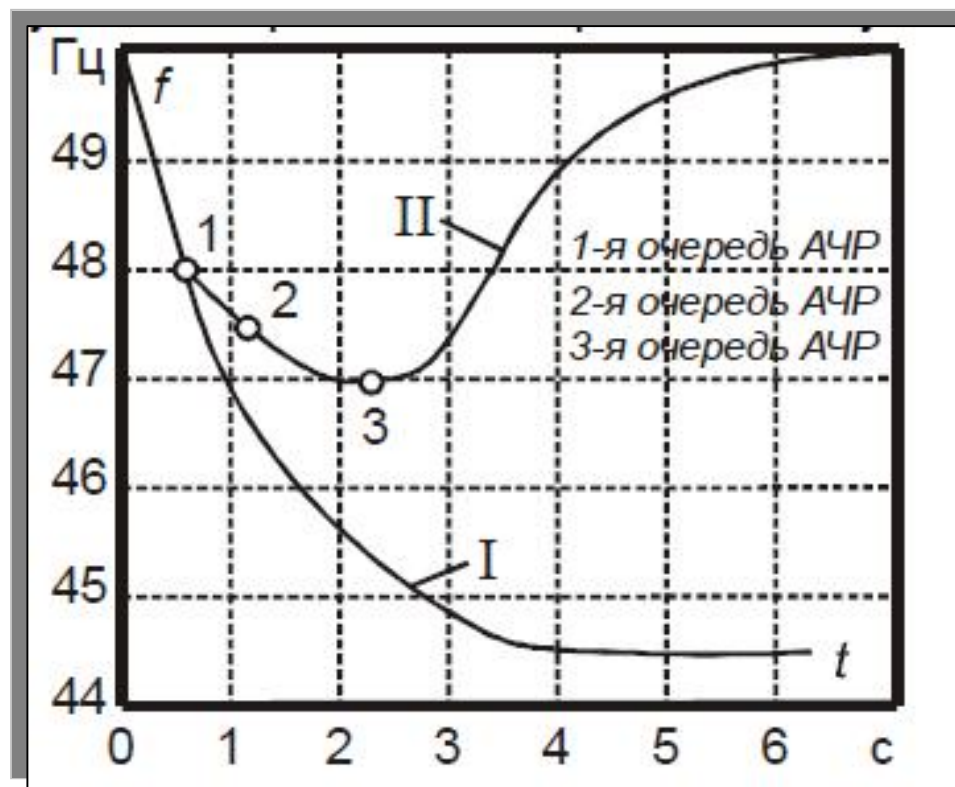
Уменьшение мощности, потребляемой нагрузкой при снижении частоты, или, как говорят, регулирующий эффект нагрузки, характеризуется коэффициентом $k_{нагр}$, равным отношению

$$k = \frac{\Delta P\%}{\Delta f\%}$$

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.*

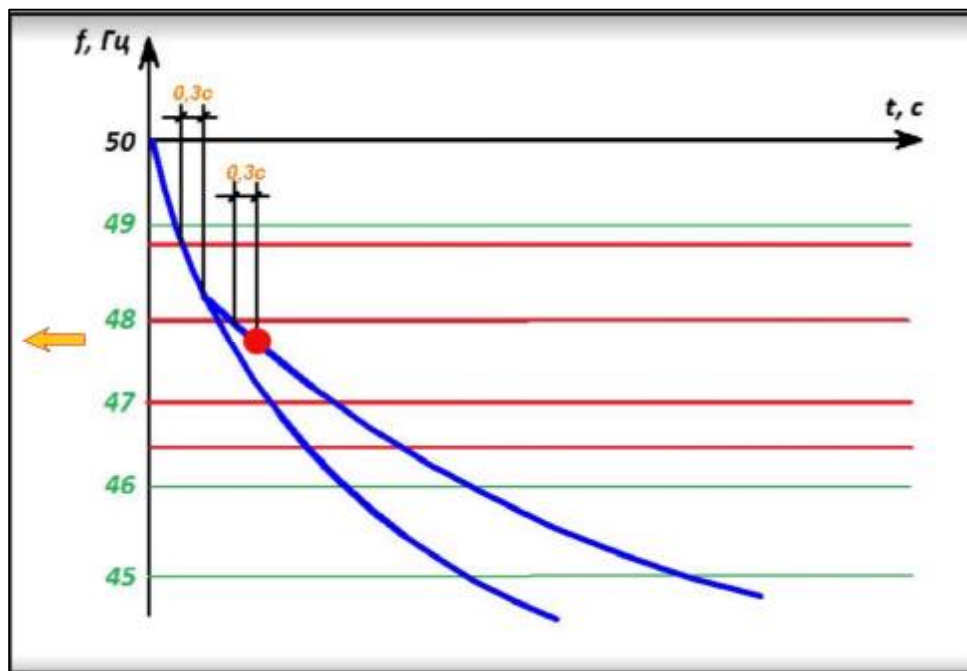
Изменение частоты при возникновении дефицита активной мощности *I* - при отсутствии АЧР; *II* - при наличии АЧР.

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. Первая категория автоматической частотной разгрузки



АЧР-1 быстродействующая ($T=0,3-0,5$ сек) с уставками срабатывания от 48,5 Гц (в отдельных случаях от 49,2-49,3 Гц) до 46,5 Гц.

Назначение очередей АЧР-1 - не допустить глубокого снижения частоты в первое время развития



аварии. Уставки срабатывания отдельных очередей АЧР-1 отличаются одна от другой на 0,1 Гц.

Мощность, подключаемая к АЧР-1, примерно равномерно распределяется между очередями. Вторая категория автоматической частотной разгрузки—АЧР-2 предназначена для восстановления частоты до длительно

допустимого значения - выше 49,0 Гц. Вторая категория АЧР-2 работает после отключения части потребителей от АЧР-1, когда снижение частоты прекращается, и она устанавливается на уровне 47,5-48,5 Гц.

Уставки срабатывания всех АЧР-2 принимаются близкими по частоте в диапазоне 48,5-48,8 Гц. Выдержки времени АЧР-2 отличаются друг от друга на 3 сек и принимаются равными 5-90 сек. Большие выдержки времени АЧР-2 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 номи-

нальной, означает, что будет отключена дополнительная часть потребителей, которая могла бы остаться в работе. Совмещенная АЧР состоит из двух устройств АЧР-1 – АЧР-2 действующих на ту же нагрузку.

Кроме двух категорий автоматической частотной разгрузки – АЧР-1 и АЧР-2 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.

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.

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.

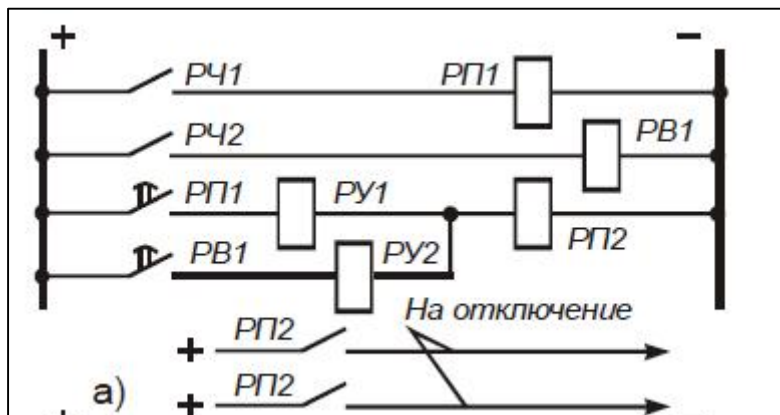
Аппаратура, применяемая для АЧР

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°C до плюс 55°C при изменении напряжения питания в диапазоне $\pm 80\%$ от 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, миллисекундомер и др.) быстро выставлять 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 также блокировку по скорости снижения частоты.





Схемы АЧР и ЧАПВ

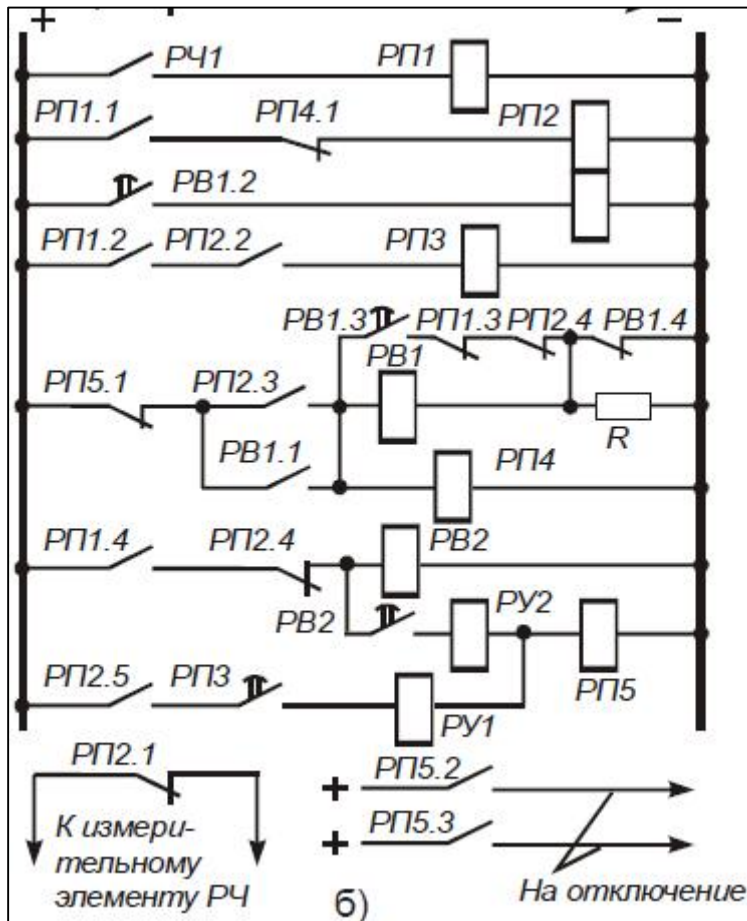
На рис. приведена схема совмещенных АЧР-1 и АЧР-2.

Действие АЧР осуществляется с помощью реле частоты **РЧ1**, промежуточного реле **РП1** и выходного реле **РП2**.

Устройство АЧР-2 выполняется с помощью реле частоты **РЧ2** и реле времени **РВ1**. Сигнализация срабатывания АЧР-1 и АЧР-2 выполняется с помощью указательных реле **РУ1** и **РУ2** соответственно. При выполнении АЧР только одного вида (АЧР-1 или АЧР-2) 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 следующем рисунке.



В схеме АЧР используется одно реле частоты **РЧ** типа РЧ1, на измерительных элементах которого настроены уставки, соответствующие АЧР-1 и АЧР-2. 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-2 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-2. Если частота понизилась до уставки АЧР-1, 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-1, схема будет продолжать работать. Реле времени **РВ1**, сработав “при замыкании контакта **РП2.3**, будет самоудерживаться через свой мгновенный замыкающий

контакт **PВ1.1**. Спустя выдержку времени, установленную на проскальзывающем контакте **PВ1.2**, будет подан плюс на нижнюю обмотку реле **РП2**, и оно переключит свои контакты, вновь вводя в действие измерительный элемент с уставной АЧР11. В течение всего времени, пока не замкнется проскальзывающий контакт **PВ1.2**, схема будет готова к действию на отключение без выдержки времени в случае снижения частоты до уставки АЧР1. После замыкания проскальзывающего контакта **PВ1.2** и переключения реле **РП2** цепь отключения от АЧР-1 будет выведена и в работе останется только АЧР-2. После переключения **РП2** сработают вновь **РЧ** (если частота будет ниже уставки срабатывания АЧР-2) 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 **PВ1**, 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 **PВ1** и **РП4**. В случае, если схема не подействует на отключение вследствие восстановления частоты в энергосистеме выше уставки АЧР11 и возврата реле **РЧ**, возврат схемы будет осуществлен шунтированием обмотки **PВ1** по цепи: упорный контакт **PВ1.3** - размыкающий контакт **РП1.3** - размыкающий контакт **РП2.4**. Выдержка времени АЧР11 в рассматриваемой схеме определяется суммой выдержек времени, установленных на **PВ2** и на проскальзывающем

контакте ***PB1.2***.

**Устройство автоматического ограничения
снижения частоты и напряжения «Сириус-2-
РЧН»** предназначено для использования на

электростанциях и подстанциях энергосистем с
целью ликвидации дефицита активной

мощности путем автоматического отключения
потребителей при снижении частоты (АЧР) с
последующим автоматическим повторным
включением отключенных потребителей при

восстановлении частоты (ЧАПВ) и для ликвидации дефицита реактивной мощности путем отключения
потребителей при снижении напряжения (АОСН) с последующим автоматическим повторным
включением отключенных потребителей при восстановлении напряжения (АПВН).

Устройство может использоваться в следующих режимах:

- только АЧР,



- только АОСН,
- комбинация АЧР и АОСН.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ СНИЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ (АОСН)

Устройства АОСН предназначены для предотвращения снижения напряжения в узлах энергосистемы в послеаварийных режимах до значения, опасного по условиям устойчивости нагрузки и надежности работы электростанций. Опасный уровень напряжения, с учетом длительности его существования, определяется конкретными условиями. Устройства АОСН применяются с учетом зависимости потребления от напряжения, наличия РПН на понижающих трансформаторах, наличия конденсаторных батарей и длинных сильнозагруженных линий электропередачи.

Устройства АОСН действуют непосредственно по признаку снижения напряжения с учетом его длительности. Для ускорения действия устройства АОСН могут содержать также цепи контроля производной напряжения. В тех случаях, когда при использовании местных сигналов по напряжению устройства не обеспечивают достаточной эффективности, применяются более сложные устройства, дополненные фиксацией повреждения с телепередачей сигналов.

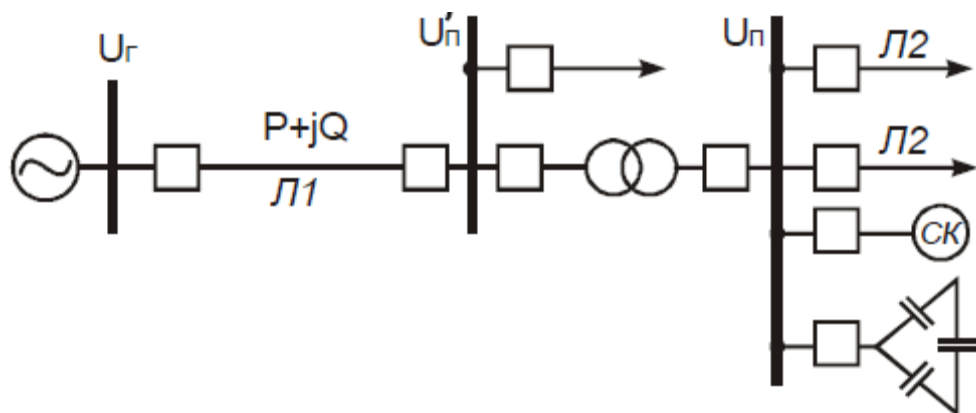
АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

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. 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 $\pm 10\%$.

Напряжение на шинах низшего напряжения приемной подстанции (рис.) равно:



$$U_n \approx \left(U_{\text{з}} - \frac{PR + QX}{U'_n} \right) \frac{1}{n_T}$$

где U_n - напряжение на шинах высшего напряжения приемной подстанции;

$U_{\text{Г}}$ 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 можно сделать заключение, что изменить напряжение у потребителя U_n можно

следующими способами: изменением напряжения на шинах генератора; изменением коэффициента трансформации n_m 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.



УКРМ 0,4 кВ.



Устройство УКРМ: контроллер



Контроллер - микропроцессорный регулятор реактивной мощности, который обеспечивает ступенчатое регулирование реактивной мощности в режиме реального времени без участия человека.

По углу между фазными напряжениями и током контроллер рассчитывает $\cos\phi$ и сравнивает его с заданным значением. При наличии отклонения $\cos\phi$ от заданного значения выдается сигнал на включение либо отключение секций конденсаторов.



APCTEM

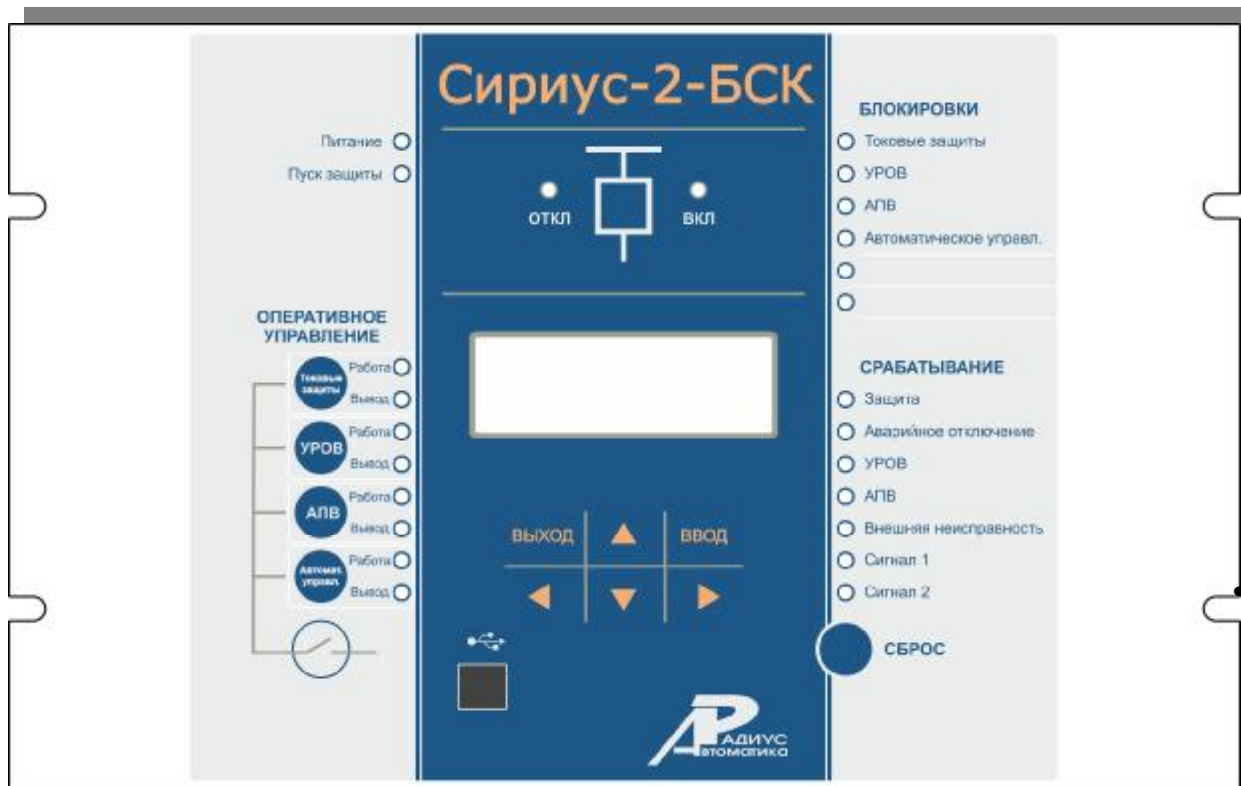
Компенсация реактивной мощности



УКРМ 6(10) кВ.



Батарея статических конденсаторов 110 кВ.



Устройство предназначено для выполнения функций релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации батареи статических конденсаторов напряжением 3–220 кВ. Функции защиты, выполняемые устройством:

трехступенчатая максимальная токовая защита (МТЗ) от междофазных повреждений с контролем двух или трех фазных токов (любая ступень может иметь комбинированный пуск

по напряжению);

- автоматический ввод ускорения любых ступеней МТЗ при любом включении выключателя;
- трехступенчатая токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП);
- защита от обрыва фазы питающего фидера (ЗОФ);
- защита от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) по сумме высших гармоник;
- защита от однофазных замыканий на землю по току основной частоты (может быть выполнена направленной);
- двухступенчатая защита от повышения напряжения (ЗПН);

- защита минимального напряжения (ЗМН);
- двухступенчатая защита от перегрузки токами высших гармоник;
- защита от несимметрии токов в фазах конденсаторной батареи;
- выдача сигнала пуска МТЗ для организации логической защиты шин.

Функции автоматики, выполняемые устройством:

- автоматика управления выключателем (АУВ), включающая в себя защиту от многократных включений, защиту от непереключения фаз (ЗНФ), защиту от неполнофазного режима работы (ЗНФР), защиту электромагнитов управления от длительного протекания тока и контроль исправности цепей этих электромагнитов;
- формирование сигнала УРОВ при отказе своего выключателя;
- автоматическое повторное включение (АПВ) после отключения выключателя от ЗПН после возврата напряжения в норму;
- автоматическое управление включением и отключением батареи в зависимости от значения реактивной мощности с помощью внешнего контактного варметра;
- возможность подключения внешних защит, например, защиты от небаланса, дуговой, или от однофазных замыканий на землю.