

## Раздел 3

# ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

## Глава 3.1

### ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

#### ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ

3.1.1. Настоящая глава Правил распространяется на защиту электрических сетей до 1 кВ, сооружаемых как внутри, так и вне зданий. Дополнительные требования к защите сетей указанного напряжения, вызванные особенностями различных электроустановок, приведены в других главах Правил.

3.1.2. Аппаратом защиты называется аппарат, автоматически отключающий защищаемую электрическую цепь при ненормальных режимах.

#### ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТАМ ЗАЩИТЫ

3.1.3. Аппараты защиты по своей отключающей способности должны соответствовать максимальному значению тока КЗ в начале защищаемого участка электрической сети (см. также гл. 1.4).

Допускается установка аппаратов защиты, нестойких к максимальным значениям тока КЗ, а также выбранных по значению одноразовой предельной коммутационной способности, если защищающий их групповой аппарат или ближайший аппарат, расположенный по направлению к источнику питания, обеспечивает мгновенное отключение тока КЗ, для чего необходимо, чтобы ток уставки мгновенно действующего расцепителя (отсечки) указанных аппаратов был меньше тока одноразовой коммутационной способности каждого из группы нестойких аппаратов, и если такое неселективное отключение всей группы аппаратов не грозит аварией, порчей дорогостоящего оборудования и материалов или расстройством сложного технологического процесса.

3.1.4. Номинальные токи плавких вставок предохранителей и токи уставок автоматических выключателей, служащих для защиты отдельных участков сети, во всех случаях следует выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам этих участков или по номинальным токам электроприемников, но таким образом, чтобы аппараты защиты не отключали электроустановки при кратковременных перегрузках (пусковые токи, пики технологических нагрузок, токи при самозапуске и т. п.).

3.1.5. В качестве аппаратов защиты должны применяться автоматические выключатели или предохранители. Для обеспечения требований быстродействия, чувствительности или селективности допускается при необходимости применение устройств защиты с использованием выносных реле (реле косвенного действия).

3.1.6. Автоматические выключатели и предохранители пробочного типа должны присоединяться к сети так, чтобы при вывинченной пробке предохранителя (автоматического выключателя) винтовая гильза предохранителя (автоматического выключателя) оставалась без напряжения. При одностороннем питании присоединение питающего проводника (кабеля или провода) к аппарату защиты должно выполняться, как правило, к неподвижным контактам.

3.1.7. Каждый аппарат защиты должен иметь надпись, указывающую значения номинального тока аппарата, уставки расцепителя и номинального тока плавкой вставки, требующиеся для защищаемой им сети. Надписи рекомендуется наносить на аппарате или схеме, расположенной вблизи места установки аппаратов защиты.

## ВЫБОР ЗАЩИТЫ

3.1.8. Электрические сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания, обеспечивающую по возможности наименьшее время отключения и требования селективности.

Защита должна обеспечивать отключение поврежденного участка при КЗ в конце защищаемой линии: одно-, двух- и трехфазных - в сетях с глухозаземленной нейтралью; двух- и трехфазных - в сетях с изолированной нейтралью.

Надежное отключение поврежденного участка сети обеспечивается, если отношение наименьшего расчетного тока КЗ к номинальному току плавкой вставки предохранителя или расцепителя автоматического выключателя будет не менее значений, приведенных в 1.7.79 и 7.3.139.

3.1.9. В сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки согласно 3.1.10), за исключением протяженных сетей, например сельских, коммунальных, допускается не выполнять расчетной проверки приведенной в 1.7.79 и 7.3.139 кратности тока КЗ, если обеспечено условие, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников, приведенным в таблицах гл. 1.3, аппараты защиты имели кратность не более:

300% для номинального тока плавкой вставки предохранителя;

450% для тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку);

100% для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратной зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки);

125% для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратной зависящей от тока характеристикой; если на этом автоматическом выключателе имеется еще отсечка, то ее кратность тока срабатывания не ограничивается.

Наличие аппаратов защиты с завышенными уставками тока не является обоснованием для увеличения сечения проводников сверх указанных в гл. 1.3.

3.1.10. Сети внутри помещений, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией, должны быть защищены от перегрузки.

Кроме того, должны быть защищены от перегрузки сети внутри помещений:

осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников (утюгов, чайников, плиток, комнатных холодильников, пылесосов, стиральных и швейных машин и т. п.), а также в пожароопасных зонах;

силовые сети на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях - только в случаях, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников;

сети всех видов во взрывоопасных зонах - согласно требованиям 7.3.94.

3.1.11. В сетях, защищаемых от перегрузок (см. 3.1.10), проводники следует выбирать по расчетному току, при этом должно быть обеспечено условие, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам, приведенным в таблицах гл. 1.3, аппараты защиты имели кратность не более:

80% для номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), - для проводников с поливинилхлоридной, резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией; для проводников, прокладываемых в невзрывоопасных производственных помещениях промышленных предприятий, допускается 100%;

100% для номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), - для кабелей с бумажной изоляцией;

100% для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки) - для проводников всех марок;

100% для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависящей от тока характеристикой - для проводников с поливинилхлоридной, резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией;

125% для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависящей от тока характеристикой - для кабелей с бумажной изоляцией и изоляцией из вулканизированного полиэтилена.

3.1.12. Длительно допустимая токовая нагрузка проводников ответвлений к короткозамкнутым электродвигателям должна быть не менее:

100% номинального тока электродвигателя в невзрывоопасных зонах;

125% номинального тока электродвигателя во взрывоопасных зонах.

Соотношения между длительно допустимой нагрузкой проводников к короткозамкнутым электродвигателям и уставками аппаратов защиты в любом случае не должны превышать указанных в 3.1.9 (см. также 7.3.97).

3.1.13. В случаях, когда требуемая допустимая длительная токовая нагрузка проводника, определенная по 3.1.9 и 3.1.11, не совпадает с данными таблиц допустимых нагрузок, приведенных в гл. 1.3, допускается применение проводника ближайшего меньшего сечения, но не менее, чем это требуется по расчетному току.

## **МЕСТА УСТАНОВКИ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ**

3.1.14. Аппараты защиты следует располагать по возможности в доступных для обслуживания местах таким образом, чтобы была исключена возможность их механических повреждений. Установка их должна быть выполнена так, чтобы при оперировании с ними или при их действии были исключены опасность для обслуживающего персонала и возможность повреждения окружающих предметов.

Аппараты защиты с открытыми токоведущими частями должны быть доступны для обслуживания только квалифицированному персоналу.

3.1.15. Аппараты защиты следует устанавливать, как правило, в местах сети, где сечение проводника уменьшается (по направлению к месту потребления электроэнергии) или где это необходимо для обеспечения чувствительности и селективности защиты (см. также 3.1.16 и 3.1.19).

3.1.16. Аппараты защиты должны устанавливаться непосредственно в местах присоединения защищаемых проводников к питающей линии. Допускается в случаях необходимости принимать длину участка между питающей линией и аппаратом защиты ответвления до 6 м. Проводники на этом участке могут иметь сечение меньше, чем сечение проводников питающей линии, но не менее сечения проводников после аппарата защиты.

Для ответвлений, выполняемых в труднодоступных местах (например, на большой высоте), аппараты защиты допускается устанавливать на расстоянии до 30 м от точки ответвления в удобном для обслуживания месте (например, на вводе в распределительный пункт, в пусковом устройстве электроприемника и др.). При этом сечение проводников ответвления должно быть не менее сечения, определяемого расчетным током, но должно обеспечивать не менее 10% пропускной способности защищенного участка питающей линии. Прокладка проводников ответвлений в указанных случаях (при длинах ответвлений до 6 и до 30 м) должна производиться при горючих наружных оболочке или изоляции проводников - в трубах, металлорукавах, или

коробах, в остальных случаях, кроме кабельных сооружений, пожароопасных и взрывоопасных зон, - открыто на конструкциях при условии их защиты от возможных механических повреждений.

3.1.17. При защите сетей предохранителями последние должны устанавливаться на всех нормально незаземленных полюсах или фазах. Установка предохранителей в нулевых рабочих проводниках запрещается.

3.1.18. При защите сетей с глухозаземленной нейтралью автоматическими выключателями расцепители их должны устанавливаться во всех нормально незаземленных проводниках (см. также 7.3.99).

При защите сетей с изолированной нейтралью в трехпроводных сетях трехфазного тока и двухпроводных сетях однофазного или постоянного тока допускается устанавливать расцепители автоматических выключателей в двух фазах при трехпроводных сетях и в одной фазе (полюсе) при двухпроводных. При этом в пределах одной и той же электроустановки защиту следует осуществлять в одних и тех же фазах (полюсах).

Расцепители в нулевых проводниках допускается устанавливать лишь при условии, что при их срабатывании отключаются от сети одновременно все проводники, находящиеся под напряжением.

3.1.19. Аппараты защиты допускается не устанавливать, если это целесообразно по условиям эксплуатации, в местах:

1) ответвления проводников от шин щита к аппаратам, установленным на том же щите; при этом проводники должны выбираться по расчетному току ответвления;

2) снижения сечения питающей линии по ее длине и на ответвлениях от нее, если защита предыдущего участка линии защищает участок со сниженным сечением проводников или если незащищенные участки линии или ответвления от нее выполнены проводниками, выбранными с сечением не менее половины сечения проводников защищенного участка линии;

3) ответвления от питающей линии к электроприемникам малой мощности, если питающая их линия защищена аппаратом с уставкой не более 25 А для силовых электроприемников и бытовых электроприборов, а для светильников - согласно 6.2.2;

4) ответвления от питающей линии проводников цепей измерений, управления и сигнализации, если эти проводники не выходят за пределы соответствующих машин или щита или если эти проводники выходят за их пределы, но электропроводка выполнена в трубах или имеет негорючую оболочку.

Не допускается устанавливать аппараты защиты в местах присоединения к питающей линии таких цепей управления, сигнализации и измерения, отключение которых может повлечь за собой опасные последствия (отключение пожарных насосов, вентиляторов, предотвращающих образование взрывоопасных смесей, некоторых механизмов собственных нужд электростанций и т. п.). Во всех случаях такие цепи должны выполняться проводниками в трубах или иметь негорючую оболочку. Сечение этих цепей должно быть не менее приведенных в 3.4.4.

## **Глава 3.2**

### **РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА**

#### **ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

3.2.1. Настоящая глава Правил распространяется на устройства релейной защиты элементов электрической части энергосистем, промышленных и других электроустановок выше 1 кВ; генераторов, трансформаторов (автотрансформаторов), блоков генератор - трансформатор, линий электропередачи, шин и синхронных компенсаторов.

Защита всех электроустановок выше 500 кВ, кабельных линий выше 35 кВ, а также электроустановок атомных электростанций и передач постоянного тока в настоящей главе Правил не рассматривается.

Требования к защите электрических сетей до 1 кВ, электродвигателей, конденсаторных установок, электротермических установок см. соответственно в гл. 3.1, 5.3, 5.6 и 7.5.

Устройства релейной защиты элементов электроустановок, не рассмотренные в этой и других главах, должны выполняться в соответствии с общими требованиями настоящей главы.

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

3.2.2. Электроустановки должны быть оборудованы устройствами релейной защиты, предназначенными для:

а) автоматического отключения поврежденного элемента от остальной, неповрежденной части электрической системы (электроустановки) с помощью выключателей; если повреждение (например, замыкание на землю в сетях с изолированной нейтралью) непосредственно не нарушает работу электрической системы, допускается действие релейной защиты только на сигнал.

б) реагирования на опасные, ненормальные режимы работы элементов электрической системы (например, перегрузку, повышение напряжения в обмотке статора гидрогенератора); в зависимости от режима работы и условий эксплуатации электроустановки релейная защита должна быть выполнена с действием на сигнал или на отключение тех элементов, оставление которых в работе может привести к возникновению повреждения.

3.2.3. С целью удешевления электроустановок вместо автоматических выключателей и релейной защиты следует применять предохранители или открытые плавкие вставки, если они:

могут быть выбраны с требуемыми параметрами (номинальное напряжение и ток, номинальный ток отключения и др.);

обеспечивают требуемые селективность и чувствительность;

не препятствуют применению автоматики (автоматическое повторное включение - АПВ, автоматическое включение резерва - АВР и т. п.), необходимой по условиям работы электроустановки.

При использовании предохранителей или открытых плавких вставок в зависимости от уровня несимметрии в неполнофазном режиме и характера питаемой нагрузки следует рассматривать необходимость установки на приемной подстанции защиты от неполнофазного режима.

3.2.4. Устройства релейной защиты должны обеспечивать наименьшее возможное время отключения КЗ в целях сохранения бесперебойной работы неповрежденной части системы (устойчивая работа электрической системы и электроустановок потребителей, обеспечение возможности восстановления нормальной работы путем успешного действия АПВ и АВР, самозапуска электродвигателей, втягивания в синхронизм и пр.) и ограничения области и степени повреждения элемента.

3.2.5. Релейная защита, действующая на отключение, как правило, должна обеспечивать селективность действия, с тем, чтобы при повреждении какого-либо элемента электроустановки отключался только этот поврежденный элемент.

Допускается неселективное действие защиты (исправляемое последующим действием АПВ или АВР):

а) для обеспечения, если это необходимо, ускорения отключения КЗ (см. 3.2.4);

б) при использовании упрощенных главных электрических схем с отделителями в цепях линий или трансформаторов, отключающими поврежденный элемент в бестоковую паузу.

3.2.6. Устройства релейной защиты с выдержками времени, обеспечивающими селективность действия, допускается выполнять, если: при отключении КЗ с выдержками времени

обеспечивается выполнение требований 3.2.4; защита действует в качестве резервной (см. 3.2.15).

3.2.7. Надежность функционирования релейной защиты (срабатывание при появлении условий на срабатывание и несрабатывание при их отсутствии) должна быть обеспечена применением устройств, которые по своим параметрам и исполнению соответствуют назначению, а также надлежащим обслуживанием этих устройств.

При необходимости следует использовать специальные меры повышения надежности функционирования, в частности схемное резервирование, непрерывный или периодический контроль состояния и др. Должна также учитываться вероятность ошибочных действий обслуживающего персонала при выполнении необходимых операций с релейной защитой.

3.2.8. При наличии релейной защиты, имеющей цепи напряжения, следует предусматривать устройства:

автоматически выводящие защиту из действия при отключении автоматических выключателей, перегорании предохранителей и других нарушениях цепей напряжения (если эти нарушения могут привести к ложному срабатыванию защиты в нормальном режиме), а также сигнализирующие о нарушениях этих цепей;

сигнализирующие о нарушениях цепей напряжения, если эти нарушения не приводят к ложному срабатыванию защиты в условиях нормального режима, но могут привести к излишнему срабатыванию в других условиях (например, при КЗ вне защищаемой зоны).

3.2.9. При установке быстродействующей релейной защиты на линиях электропередачи с трубчатыми разрядниками должна быть предусмотрена отстройка ее от работы разрядников, для чего:

наименьшее время срабатывания релейной защиты до момента подачи сигнала на отключение должно быть больше времени однократного срабатывания разрядников, а именно около 0,06-0,08 с;

пусковые органы защиты, срабатывающие от импульса тока разрядников, должны иметь возможно меньшее время возврата (около 0,01 с от момента исчезновения импульса).

3.2.10. Для релейных защит с выдержками времени в каждом конкретном случае следует рассматривать целесообразность обеспечения действия защиты от начального значения тока или сопротивления при КЗ для исключения отказов срабатывания защиты (из-за затухания токов КЗ во времени, в результате возникновения качаний, появления дуги в месте повреждения и др.).

3.2.11. Защиты в электрических сетях 110 кВ и выше должны иметь устройства, блокирующие их действие при качаниях или асинхронном ходе, если в указанных сетях возможны такие качания или асинхронный ход, при которых защиты могут срабатывать излишне.

Допускается применение аналогичных устройств и для линий ниже 110 кВ, связывающих между собой источники питания (исходя из вероятности возникновения качаний или асинхронного хода и возможных последствий излишних отключений).

Допускается выполнение защиты без блокировки при качаниях, если защита отстроена от качаний по времени (выдержка времени защиты - около 1,5-2 с).

3.2.12. Действие релейной защиты должно фиксироваться указательными реле, встроенными в реле указателями срабатывания, счетчиками числа срабатываний или другими устройствами в той степени, в какой это необходимо для учета и анализа работы защит.

3.2.13. Устройства, фиксирующие действие релейной защиты на отключение, следует устанавливать так, чтобы сигнализировалось действие каждой защиты, а при сложной защите - отдельных ее частей (разные ступени защиты, отдельные комплекты защит от разных видов повреждения и т. п.).

3.2.14. На каждом из элементов электроустановки должна быть предусмотрена основная защита, предназначенная для ее действия при повреждениях в пределах всего защищаемого элемента с временем, меньшим, чем у других установленных на этом элементе защит.

3.2.15. Для действия при отказах защит или выключателей смежных элементов следует предусматривать резервную защиту, предназначенную для обеспечения дальнего резервного действия.

Если основная защита элемента обладает абсолютной селективностью (например, высокочастотная защита, продольная и поперечная дифференциальные защиты), то на данном элементе должна быть установлена резервная защита, выполняющая функции не только дальнего, но и ближнего резервирования, т. е. действующая при отказе основной защиты данного элемента или выведении ее из работы. Например, если в качестве основной защиты от замыканий между фазами применена дифференциально-фазная защита, то в качестве резервной может быть применена трехступенчатая дистанционная защита.

Если основная защита линии 110 кВ и выше обладает относительной селективностью (например, ступенчатые защиты с выдержками времени), то:

отдельную резервную защиту допускается не предусматривать при условии, что дальнее резервное действие защит смежных элементов при КЗ на этой линии обеспечивается;

должны предусматриваться меры по обеспечению ближнего резервирования, если дальнее резервирование при КЗ на этой линии не обеспечивается.

3.2.16. Для линии электропередачи 35 кВ и выше с целью повышения надежности отключения повреждения в начале линии может быть предусмотрена в качестве дополнительной защиты токовая отсечка без выдержки времени при условии выполнения требований 3.2.26.

3.2.17. Если полное обеспечение дальнего резервирования связано со значительным усложнением защиты или технически невозможно, допускается:

1) не резервировать отключения КЗ за трансформаторами, на реактированных линиях, линиях 110 кВ и выше при наличии ближнего резервирования, в конце длинного смежного участка линии 6-35 кВ;

2) иметь дальнее резервирование только при наиболее часто встречающихся видах повреждений, без учета редких режимов работы и при учете каскадного действия защиты;

3) предусматривать неселективное действие защиты при КЗ на смежных элементах (при дальнем резервном действии) с возможностью обесточения в отдельных случаях подстанций; при этом следует по возможности обеспечивать исправление этих неселективных отключений действием АПВ или АВР.

3.2.18. Устройства резервирования при отказе выключателей (УРОВ) должны предусматриваться в электроустановках 110-500 кВ. Допускается не предусматривать УРОВ в электроустановках 110-220 кВ при соблюдении следующих условий:

1) обеспечиваются требуемая чувствительность и допустимые по условиям устойчивости времени отключения от устройств дальнего резервирования;

2) при действии резервных защит нет потери дополнительных элементов из-за отключения выключателей, непосредственно не примыкающих к отказавшему выключателю (например, отсутствуют секционированные шины, линии с ответвлением).

На электростанциях с генераторами, имеющими непосредственное охлаждение проводников обмоток статоров, для предотвращения повреждений генераторов при отказах выключателей 110-500 кВ следует предусматривать УРОВ независимо от прочих условий.

При отказе одного из выключателей поврежденного элемента (линия, трансформатор, шины) электроустановки УРОВ должно действовать на отключение выключателей, смежных с отказавшим.

Если защиты присоединены к выносным трансформаторам тока, то УРОВ должно действовать и при КЗ в зоне между этими трансформаторами тока и выключателем.

Допускается применение упрощенных УРОВ, действующих при КЗ с отказами выключателей не на всех элементах (например, только при КЗ на линиях); при напряжении 35-220 кВ, кроме того, допускается применение устройств, действующих лишь на отключение шинносоединительного (секционного) выключателя.

При недостаточной эффективности дальнего резервирования следует рассматривать необходимость повышения надежности ближнего резервирования в дополнение к УРОВ.

3.2.19. При выполнении резервной защиты в виде отдельного комплекта ее следует осуществлять, как правило, так, чтобы была обеспечена возможность отдельной проверки или ремонта основной или резервной защиты при работающем элементе. При этом основная и резервная защиты должны питаться, как правило, от разных вторичных обмоток трансформаторов тока.

Питание основных и резервных защит линий электропередачи 220 кВ и выше должно осуществляться, как правило, от разных автоматических выключателей оперативного постоянного тока.

3.2.20. Оценка чувствительности основных типов релейных защит должна производиться при помощи коэффициента чувствительности, определяемого:

для защит, реагирующих на величины, возрастающие в условиях повреждений, - как отношение расчетных значений этих величин (например, тока, или напряжения) при металлическом КЗ в пределах защищаемой зоны к параметрам срабатывания защит;

для защит, реагирующих на величины, уменьшающиеся в условиях повреждений, - как отношение параметров срабатывания к расчетным значениям этих величин (например, напряжения или сопротивления) при металлическом КЗ в пределах защищаемой зоны.

Расчетные значения величин должны устанавливаться, исходя из наиболее неблагоприятных видов повреждения, но для реально возможного режима работы электрической системы.

3.2.21. При оценке чувствительности основных защит необходимо исходить из того, что должны обеспечиваться следующие наименьшие коэффициенты их чувствительности:

1. Максимальные токовые защиты с пуском и без пуска напряжения, направленные и ненаправленные, а также токовые одноступенчатые направленные и ненаправленные защиты, включенные на составляющие обратной или нулевой последовательности:

для органов тока и напряжения - около 1,5;

для органов направления мощности обратной и нулевой последовательности - около 2,0 по мощности и около 1,5 по току и напряжению;

для органа направления мощности, включенного на полные ток и напряжение, не нормируется по мощности и около 1,5 по току.

Для максимальных токовых защит трансформаторов с низшим напряжением 0,23-0,4 кВ наименьший коэффициент чувствительности может быть около 1,5.

2. Ступенчатые защиты тока или тока и напряжения, направленные и ненаправленные, включенные на полные токи и напряжения или на составляющие нулевой последовательности:

для органов тока и напряжения ступени защиты, предназначенной для действия при КЗ в конце защищаемого участка, без учета резервного действия - около 1,5, а при наличии надежно действующей селективной резервной ступени - около 1,3; при наличии на противоположном конце линии отдельной защиты шин соответствующие коэффициенты чувствительности (около 1,5 и около 1,3) для ступени защиты нулевой последовательности допускается обеспечивать в режиме каскадного отключения;

для органов направления мощности нулевой и обратной последовательности - около 2,0 по мощности и около 1,5 по току и напряжению;

для органа направления мощности, включенного на полные ток и напряжение, не нормируется по мощности и около 1,5 по току.

3. Дистанционные защиты от многофазных КЗ:

для пускового органа любого типа и дистанционного органа третьей ступени - около 1,5;

для дистанционного органа второй ступени, предназначенного для действия при КЗ в конце защищаемого участка, без учета резервного действия - около 1,5, а при наличии третьей ступени



защиты - около 1,25; для указанного органа чувствительность по току должна быть около 1,3 (по отношению к току точной работы) при повреждении в той же точке.

4. Продольные дифференциальные защиты генераторов, трансформаторов, линий и других элементов, а также полная дифференциальная защита шин - около 2,0; для токового пускового органа неполной дифференциальной дистанционной защиты шин генераторного напряжения чувствительность должна быть около 2,0, а для первой ступени неполной дифференциальной токовой защиты шин генераторного напряжения, выполненной в виде отсечки, - около 1,5 (при КЗ на шинах).

Для дифференциальной защиты генераторов и трансформаторов чувствительность следует проверять при КЗ на выводах. При этом вне зависимости от значений коэффициента чувствительности для гидрогенераторов и турбогенераторов с непосредственным охлаждением проводников обмоток ток срабатывания защиты следует принимать менее номинального тока генератора (см. 3.2.36). Для автотрансформаторов и повышающих трансформаторов мощностью 63 МВ·А и более ток срабатывания без учета торможения рекомендуется принимать менее номинального (для автотрансформаторов - менее тока, соответствующего типовой мощности). Для остальных трансформаторов мощностью 25 МВ·А и более ток срабатывания без учета торможения рекомендуется принимать не более 1,5 номинального тока трансформатора.

Допускается снижение коэффициента чувствительности для дифференциальной защиты трансформатора или блока генератор - трансформатор до значения около 1,5 в следующих случаях (в которых обеспечение коэффициента чувствительности около 2,0 связано со значительным усложнением защиты или технически невозможно):

при КЗ на выводах низшего напряжения понижающих трансформаторов мощностью менее 80 МВ·А (определяется с учетом регулирования напряжения);

в режиме включения трансформатора под напряжение, а также для кратковременных режимов его работы (например, при отключении одной из питающих сторон).

Для режима подачи напряжения на поврежденные шины включением одного из питающих элементов допускается снижение коэффициента чувствительности для дифференциальной защиты шин до значения около 1,5.

Указанный коэффициент 1,5 относится также к дифференциальной защите трансформатора при КЗ за реактором, установленным на стороне низшего напряжения трансформатора и входящим в зону его дифференциальной защиты. При наличии других защит, охватывающих реактор и удовлетворяющих требованиям чувствительности при КЗ за реактором, чувствительность дифференциальной защиты трансформатора при КЗ в этой точке допускается не обеспечивать.

5. Поперечные дифференциальные направленные защиты параллельных линий:

для реле тока и реле напряжения пускового органа комплектов защиты от междуфазных КЗ и замыканий на землю - около 2,0 при включенных выключателях с обеих сторон поврежденной линии (в точке одинаковой чувствительности) и около 1,5 при отключенном выключателе с противоположной стороны поврежденной линии;

для органа направления мощности нулевой последовательности - около 4,0 по мощности и около 2,0 по току и напряжению при включенных выключателях с обеих сторон и около 2,0 по мощности и около 1,5 по току и напряжению при отключенном выключателе с противоположной стороны;

для органа направления мощности, включенного на полные ток и напряжение, по мощности не нормируется, а по току - около 2,0 при включенных выключателях с обеих сторон и около 1,5 при отключенном выключателе с противоположной стороны.

6. Направленные защиты с высокочастотной блокировкой:

для органа направления мощности обратной или нулевой последовательности, контролирующего цепь отключения, - около 3,0 по мощности, около 2,0 по току и напряжению;

для пусковых органов, контролирующих цепь отключения, - около 2,0 по току и напряжению, около 1,5 по сопротивлению.

7. Дифференциально-фазные высокочастотные защиты:

для пусковых органов, контролирующих цепь отключения, - около 2,0 по току и напряжению, около 1,5 по сопротивлению.

8. Токовые отсечки без выдержки времени, устанавливаемые на генераторах мощностью до 1 МВт и трансформаторах, при КЗ в месте установки защиты - около 2,0.

9. Защиты от замыканий на землю на кабельных линиях в сетях с изолированной нейтралью (действующие на сигнал или на отключение):

для защит, реагирующих на токи основной частоты, - около 1,25;

для защит, реагирующих на токи повышенных частот, - около 1,5.

10. Защиты от замыканий на землю на ВЛ в сетях с изолированной нейтралью, действующие на сигнал или на отключение, - около 1,5.

3.2.22. При определении коэффициентов чувствительности, указанных в 3.2.21, п. 1, 2, 5 и 7, необходимо учитывать следующее:

1. Чувствительность по мощности индукционного реле направления мощности проверяется только при включении его на составляющие токов и напряжений обратной и нулевой последовательностей.

2. Чувствительность реле направления мощности, выполненного по схеме сравнения (абсолютных значений или фаз), проверяется: при включении на полные ток и напряжение - по току; при включении на составляющие токов и напряжений обратной и нулевой последовательностей - по току и напряжению.

3.2.23. Для генераторов, работающих на сборные шины, чувствительность токовой защиты от замыканий на землю в обмотке статора, действующей на отключение, определяется ее током срабатывания, который должен быть не более 5 А. Допускается как исключение увеличение тока срабатывания до 5,5 А.

Для генераторов, работающих в блоке с трансформатором, коэффициент чувствительности защиты от однофазных замыканий на землю, охватывающей всю обмотку статора, должен быть не менее 2,0; для защиты напряжения нулевой последовательности, охватывающей не всю обмотку статора, напряжение срабатывания должно быть не более 15 В.

3.2.24. Чувствительность защит на переменном оперативном токе, выполняемых по схеме с дешунтированием электромагнитов отключения, следует проверять с учетом действительной токовой погрешности трансформаторов тока после дешунтирования. При этом минимальное значение коэффициента чувствительности электромагнитов отключения, определяемое для условия их надежного срабатывания, должно быть приблизительно на 20% больше принимаемого для соответствующих защит (см. 3.2.21).

3.2.25. Наименьшие коэффициенты чувствительности для резервных защит при КЗ в конце смежного элемента или наиболее удаленного из нескольких последовательных элементов, входящих в зону резервирования, должны быть (см. также 3.2.17):

для органов тока, напряжения, сопротивления - 1,2;

для органов направления мощности обратной и нулевой последовательностей - 1,4 по мощности и 1,2 по току и напряжению;

для органа направления мощности, включенного на полные ток и напряжение, не нормируется по мощности и 1,2 по току.

При оценке чувствительности ступеней резервных защит, осуществляющих ближнее резервирование (см. 3.2.15), следует исходить из коэффициентов чувствительности, приведенных в 3.2.21 для соответствующих защит.

3.2.26. Для токовых отсечек без выдержки времени, устанавливаемых на линиях и выполняющих функции дополнительных защит, коэффициент чувствительности должен быть около 1,2 при КЗ в месте установки защиты в наиболее благоприятном по условию чувствительности режиме.

3.2.27. Если действие защиты последующего элемента возможно из-за отказа вследствие недостаточной чувствительности защиты предыдущего элемента, то чувствительности этих защит необходимо согласовывать между собой.

Допускается не согласовывать между собой ступени этих защит, предназначенные для дальнего резервирования, если неотключение КЗ вследствие недостаточной чувствительности защиты последующего элемента (например, защиты обратной последовательности генераторов, автотрансформаторов) может привести к тяжелым последствиям.

3.2.28. В сетях с глухозаземленной нейтралью должен быть выбран исходя из условий релейной защиты такой режим заземления нейтралей силовых трансформаторов (т. е. размещение трансформаторов с заземленной нейтралью), при котором значения токов и напряжений при замыканиях на землю обеспечивают действие релейной защиты элементов сети при всех возможных режимах эксплуатации электрической системы.

Для повышающих трансформаторов и трансформаторов с двух- и трехсторонним питанием (или существенной подпиткой от синхронных электродвигателей или синхронных компенсаторов), имеющих неполную изоляцию обмотки со стороны вывода нейтрали, как правило, должно быть исключено возникновение недопустимого для них режима работы с изолированной нейтралью на выделившиеся шины или участок сети 110-220 кВ с замыканием на землю одной фазы (см. 3.2.63).

3.2.29. Трансформаторы тока, предназначенные для питания токовых цепей устройств релейной защиты от КЗ, должны удовлетворять следующим требованиям:

1. В целях предотвращения излишних срабатываний защиты при КЗ вне защищаемой зоны погрешность (полная или токовая) трансформаторов тока, как правило, не должна превышать 10%. Более высокие погрешности допускаются при использовании защит (например, дифференциальная защита шин с торможением), правильное действие которых при повышенных погрешностях обеспечивается с помощью специальных мероприятий. Указанные требования должны соблюдаться:

для ступенчатых защит - при КЗ в конце зоны действия ступени защиты, а для направленных ступенчатых защит - также и при внешнем КЗ;

для остальных защит - при внешнем КЗ.

Для дифференциальных токовых защит (шин, трансформаторов, генераторов и т. п.) должна быть учтена полная погрешность, для остальных защит - токовая погрешность, а при включении последних на сумму токов двух или более трансформаторов тока и режиме внешних КЗ - полная погрешность.

При расчетах допустимых нагрузок на трансформаторы тока допускается в качестве исходной принимать полную погрешность.

2. Токовая погрешность трансформаторов тока в целях предотвращения отказов защиты при КЗ в начале защищаемой зоны не должна превышать:

по условиям повышенной вибрации контактов реле направления мощности или реле тока - значений, допустимых для выбранного типа реле;

по условиям предельно допустимой для реле направления мощности и направленных реле сопротивлений угловой погрешности - 50%.

3. Напряжение на выводах вторичной обмотки трансформаторов тока при КЗ в защищаемой зоне не должно превышать значения, допустимого для устройства РЗА.

3.2.30. Токовые цепи электроизмерительных приборов (совместно со счетчиками) и релейной защиты должны быть присоединены, как правило, к разным обмоткам трансформаторов тока.

Допускается их присоединение к одной обмотке трансформаторов тока при условии выполнения требований 1.5.18 и 3.2.29. При этом в цепи защит, которые по принципу действия могут работать неправильно при нарушении токовых цепей, включение электроизмерительных приборов допускается только через промежуточные трансформаторы тока и при условии, что трансформаторы тока удовлетворяют требованиям 3.2.29 при разомкнутой вторичной цепи промежуточных трансформаторов тока.

3.2.31. Защиту с применением реле прямого действия, как первичных, так и вторичных, и защиты на переменном оперативном токе рекомендуется применять, если это возможно и ведет к упрощению и удешевлению электроустановки.

3.2.32. В качестве источника переменного оперативного тока для защит от КЗ, как правило, следует использовать трансформаторы тока защищаемого элемента. Допускается также использование трансформаторов напряжения или трансформаторов собственных нужд.

В зависимости от конкретных условий должна быть применена одна из следующих схем: с дешунтированием электромагнитов отключения выключателей, с использованием блоков питания, с использованием зарядных устройств с конденсатором.

3.2.33. Устройства релейной защиты, выводимые из работы по условиям режима сети, селективности действия или по другим причинам, должны иметь специальные приспособления для вывода их из работы оперативным персоналом.

Для обеспечения эксплуатационных проверок и испытаний в схемах защит следует предусматривать, где это необходимо, испытательные блоки или измерительные зажимы.

## **ЗАЩИТА ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ НЕПОСРЕДСТВЕННО НА СБОРНЫЕ ШИНЫ ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Требованиями, приведенными в 3.2.34-3.2.50, можно руководствоваться и для других генераторов.

3.2.34. Для турбогенераторов выше 1 кВ мощностью более 1 МВт, работающих непосредственно на сборные шины генераторного напряжения, должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от следующих видов повреждений и нарушений нормального режима работы:

- 1) многофазных замыканий в обмотке статора генератора и на его выводах;
- 2) однофазных замыканий на землю в обмотке статора;
- 3) двойных замыканий на землю, одно из которых возникло в обмотке статора, а второе - во внешней сети;
- 4) замыканий между витками одной фазы в обмотке статора (при наличии выведенных параллельных ветвей обмотки);
- 5) внешних КЗ;
- 6) перегрузки токами обратной последовательности (для генераторов мощностью более 30 МВт);
- 7) симметричной перегрузки обмотки статора;
- 8) перегрузки обмотки ротора током возбуждения (для генераторов с непосредственным охлаждением проводников обмоток);
- 9) замыкания на землю во второй точке цепи возбуждения;
- 10) асинхронного режима с потерей возбуждения (в соответствии с 3.2.49).

3.2.35. Для турбогенераторов выше 1 кВ мощностью 1 МВт и менее, работающих непосредственно на сборные шины генераторного напряжения, следует предусматривать устройство релейной защиты в соответствии с 3.2.34, п. 1-3, 5, 7.

Для турбогенераторов до 1 кВ мощностью до 1 МВт, работающих непосредственно на сборные шины генераторного напряжения, защиту рекомендуется выполнять в соответствии с 3.2.50.

3.2.36. Для защиты от многофазных замыканий в обмотке статора турбогенераторов выше 1 кВ мощностью более 1 МВт, имеющих выводы отдельных фаз со стороны нейтрали, должна быть предусмотрена продольная дифференциальная токовая защита (исключение см. в 3.2.27). Защита должна действовать на отключение всех выключателей генератора, на гашение поля, а также на останов турбины.

В зону действия защиты кроме генератора должны входить соединения генератора со сборными шинами электростанции (до выключателя).

Продольная дифференциальная токовая защита должна быть выполнена с током срабатывания не более  $0,6 I_{\text{ном}}$ .

Для генераторов мощностью до 30 МВт с косвенным охлаждением допускается выполнять защиту с током срабатывания  $1,3-1,4 I_{\text{ном}}$ .

Контроль неисправности токовых цепей защиты следует предусматривать при токе срабатывания защиты более  $I_{\text{ном}}$ .

Продольная дифференциальная токовая защита должна быть осуществлена с отстройкой от переходных значений токов небаланса (например, реле с насыщающимися трансформаторами тока).

Защиту следует выполнять трехфазной трехрелейной. Для генераторов мощностью до 30 МВт защиту допускается выполнять двухфазной двухрелейной при наличии защиты от двойных замыканий на землю.

3.2.37. Для защиты от многофазных замыканий в обмотке статора генераторов выше 1 кВ мощностью до 1 МВт, работающих параллельно с другими генераторами или электроэнергетической системой, должна быть предусмотрена токовая отсечка без выдержки времени, устанавливаемая со стороны выводов генератора к сборным шинам. Если токовая отсечка не удовлетворяет требованиям чувствительности, вместо нее допускается устанавливать продольную дифференциальную токовую защиту.

Применение токовой отсечки взамен дифференциальной защиты допускается и для генераторов большей мощности, не имеющих выводов фаз со стороны нейтрали.

Для одиночно работающих генераторов выше 1 кВ мощностью до 1 МВт в качестве защиты от многофазных замыканий в обмотке статора следует использовать защиту от внешних КЗ (см. 3.2.44). Защита должна действовать на отключение всех выключателей генератора и гашение его поля.

3.2.38. Для защиты генераторов выше 1 кВ от однофазных замыканий на землю в обмотке статора при естественном емкостном токе замыкания на землю 5 А и более (независимо от наличия или отсутствия компенсации) должна быть предусмотрена токовая защита, реагирующая на полный ток замыкания на землю или на его составляющие высших гармоник. При необходимости для ее включения могут быть установлены трансформаторы тока нулевой последовательности непосредственно у выводов генератора. Применение защиты рекомендуется и при емкостном токе замыкания на землю менее 5 А. Защита должна быть отстроена от переходных процессов и действовать, как в 3.2.36 или 3.2.37.

Когда защита от замыканий на землю не устанавливается (так как при емкостном токе замыкания на землю менее 5 А она нечувствительна) или не действует (например, при компенсации емкостного тока в сети генераторного напряжения), в качестве защиты генератора от замыканий на землю может использоваться установленное на шинах и действующее на сигнал устройство контроля изоляции.

3.2.39. При установке на генераторах трансформатора тока нулевой последовательности для защиты от однофазных замыканий на землю должна быть предусмотрена токовая защита от двойных замыканий на землю, присоединяемая к этому трансформатору тока.

Для повышения надежности действия при больших значениях тока следует применять реле с насыщающимся трансформатором тока. Эта защита должна быть выполнена без выдержки времени и действовать как защита, указанная в 3.2.36 или 3.2.37.

3.2.40. Для защиты от замыканий между витками одной фазы в обмотке статора генератора с выведенными параллельными ветвями должна предусматриваться односистемная поперечная дифференциальная токовая защита без выдержки времени, действующая как защита, указанная в 3.2.36.

3.2.41. Для защиты генераторов мощностью более 30 МВт от токов, обусловленных внешними несимметричными КЗ, а также от перегрузки током обратной последовательности следует предусматривать токовую защиту обратной последовательности, действующую на отключение с двумя выдержками времени (см. 3.2.45).

Для генераторов с непосредственным охлаждением проводников обмоток защиту следует выполнять со ступенчатой или зависимой характеристикой выдержки времени. При этом ступенчатая и зависимая характеристики при вторых (более высоких) выдержках времени не должны быть выше характеристики допустимых перегрузок генератора током обратной последовательности.

Для генераторов с косвенным охлаждением проводников обмоток защиту следует выполнять с независимой выдержкой времени с током срабатывания не более допустимого для генератора при прохождении по нему тока обратной последовательности в течение 2 мин; меньшая выдержка времени защиты не должна превышать допустимой длительности двухфазного КЗ на выводах генератора.

Токовая защита обратной последовательности, действующая на отключение, должна быть дополнена более чувствительным элементом, действующим на сигнал с независимой выдержкой времени. Ток срабатывания этого элемента должен быть не более длительно допустимого тока обратной последовательности для данного типа генератора.

3.2.42. Для защиты генераторов мощностью более 30 МВт от внешних симметричных КЗ должна быть предусмотрена максимальная токовая защита с минимальным пуском напряжения, выполняемая одним реле тока, включенным на фазный ток, и одним минимальным реле напряжения, включенным на междуфазное напряжение. Ток срабатывания защиты должен быть около  $1,3-1,5 I_{ном}$ , а напряжением срабатывания - около  $0,5-0, U_{ном}$ .

На генераторах с непосредственным охлаждением проводников обмоток вместо указанной защиты может быть установлена однорелейная дистанционная защита.

3.2.43. Для защиты генераторов мощностью более 1 МВт до 30 МВт от внешних КЗ следует применять максимальную токовую защиту с комбинированным пуском напряжения, выполненным с одним минимальным реле напряжения, включенным на междуфазное напряжение, и одним устройством фильтр-реле напряжения обратной последовательности, разрывающим цепь минимального реле напряжения.

Ток срабатывания защиты и напряжение срабатывания минимального органа напряжения следует принимать равными указанным в 3.2.42, напряжением срабатывания устройства фильтр-реле напряжения обратной последовательности -  $0,1-0,12 U_{ном}$ .

3.2.44. Для генераторов выше 1 кВ мощностью до 1 МВт в качестве защиты от внешних КЗ должна быть применена максимальная токовая защита, присоединяемая к трансформаторам тока со стороны нейтрали. Уставку защиты следует выбирать по току нагрузки с необходимым запасом. Допускается также применение упрощенной минимальной защиты напряжения (без реле тока).

3.2.45. Защита генераторов мощностью более 1 МВт от токов, обусловленных внешними КЗ, должна быть выполнена с соблюдением следующих требований:

1. Защиту следует присоединять к трансформаторам тока, установленным на выводах генератора со стороны нейтрали.

2. При наличии секционирования шин генераторного напряжения защиту следует выполнять с двумя выдержками времени: с меньшей выдержкой - на отключение соответствующих секционных и шиносоединительного выключателей, с большей - на отключение выключателя генератора и гашение поля.

3.2.46. На генераторах с непосредственным охлаждением проводников обмоток должна быть предусмотрена защита ротора от перегрузки при работе генератора как с основным, так и с

резервным возбуждением. Защиту следует выполнять с независимой или зависимой от тока выдержкой времени и реагирующей на повышение напряжения или тока в обмотке ротора. Защита должна действовать на отключение выключателя генератора и гашение поля. С меньшей выдержкой времени от защиты должна производиться разгрузка ротора.

3.2.47. Защита генератора от токов, обусловленных симметричной перегрузкой, должна быть выполнена в виде максимальной токовой защиты, действующей на сигнал с выдержкой времени и использующей ток одной фазы статора.

Для разгрузки и при необходимости для автоматического отключения генератора с непосредственным охлаждением проводников обмоток при симметричных перегрузках допускается использовать защиту ротора, выполняемую согласно 3.2.46 и реагирующую на перегрузки ротора, сопровождающие симметричные перегрузки турбогенераторов.

3.2.48. Защита от замыканий на землю во второй точке цепи возбуждения турбогенераторов должна быть предусмотрена в одном комплекте на несколько (но не более трех) генераторов с близкими параметрами цепей возбуждения. Защита должна включаться в работу только при появлении замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения, выявляемого при периодическом контроле изоляции (см. гл. 1.6). Защита должна действовать на отключение выключателя генератора и гашение поля на генераторах с непосредственным охлаждением проводников обмоток и на сигнал или на отключение на генераторах с косвенным охлаждением.

3.2.49. На турбогенераторах с непосредственным охлаждением проводников обмоток рекомендуется устанавливать устройства защиты от асинхронного режима с потерей возбуждения. Допускается вместо этого предусматривать автоматическое выявление асинхронного режима только по положению устройств автоматического гашения поля. При действии указанных устройств защиты или при отключении АГП на генераторах, допускающих асинхронный режим, должен подаваться сигнал о потере возбуждения.

Генераторы, не допускающие асинхронного режима, а в условиях дефицита реактивной мощности в системе и остальные генераторы, потерявшие возбуждение, должны отключаться от сети при действии указанных устройств (защиты или автоматического гашения поля).

3.2.50. Защиту генераторов до 1 кВ мощностью до 1 МВт с незаземленной нейтралью от всех видов повреждений и ненормальных режимов работы следует осуществлять установкой на выводах автоматического выключателя с максимальными расцепителями или выключателя с максимальной токовой защитой в двухфазном исполнении. При наличии выводов со стороны нейтрали указанную защиту, если возможно, следует присоединять к трансформаторам тока, установленным на этих выводах.

Для указанных генераторов с глухозаземленной нейтралью эта защита должна быть предусмотрена в трехфазном исполнении.

## **ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ (АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ) С ОБМОТКОЙ ВЫСШЕГО НАПРЯЖЕНИЯ 3 кВ И ВЫШЕ И ШУНТИРУЮЩИХ РЕАКТОРОВ 500 кВ**

3.2.51. Для трансформаторов<sup>1</sup> должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы:

<sup>1</sup> Здесь и далее в разд. 3 термин "трансформаторы" распространяется и на автотрансформаторы (соответствующих напряжений и мощностей), если в тексте не делается специальной оговорки.

- 1) многофазных замыканий в обмотках и на выводах;
- 2) однофазных замыканий на землю в обмотке и на выводах, присоединенных к сети с глухозаземленной нейтралью;
- 3) витковых замыканий в обмотках;

- 4) токов в обмотках, обусловленных внешними КЗ;
- 5) токов в обмотках, обусловленных перегрузкой;
- 6) понижения уровня масла;
- 7) частичного пробоя изоляции вводов 500 кВ;

8) однофазных замыканий на землю в сетях 3-10 кВ с изолированной нейтралью, если трансформатор питает сеть, в которой отключение однофазных замыканий на землю необходимо по требованиям безопасности (см. 3.2.96).

Рекомендуется, кроме того, применение защиты от однофазных замыканий на землю на стороне 6-35 кВ автотрансформаторов с высшим напряжением 220 кВ и выше.

3.2.52. Для шунтирующих реакторов 500 кВ следует предусматривать устройства релейной защиты от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы:

- 1) однофазных и двухфазных замыканий на землю в обмотках и на выводах;
- 2) витковых замыканий в обмотках;
- 3) понижение уровня масла;
- 4) частичного пробоя изоляции вводов.

3.2.53. Газовая защита от повреждений внутри кожуха, сопровождающихся выделением газа, и от понижения уровня масла должна быть предусмотрена:

для трансформаторов мощностью 6,3 МВ·А и более;

для шунтирующих реакторов напряжением 500 кВ;

для внутрицеховых понижающих трансформаторов мощностью 630 кВ·А и более.

Газовую защиту можно устанавливать также на трансформаторах мощностью 1-4 МВ·А.

Газовая защита должна действовать на сигнал при слабом газообразовании и понижении уровня масла и на отключение при интенсивном газообразовании и дальнейшем понижении уровня масла.

Защита от повреждений внутри кожуха трансформатора, сопровождающихся выделением газа, может быть выполнена также с использованием реле давления.

Защита от понижения уровня масла может быть выполнена также в виде отдельного реле уровня в расширителе трансформатора.

Для защиты контакторного устройства РПН с разрывом дуги в масле следует предусматривать отдельное газовое реле и реле давления.

Для защиты избирателей РПН, размещаемых в отдельном баке, следует предусматривать отдельное газовое реле.

Должна быть предусмотрена возможность перевода действия отключающего элемента газовой защиты на сигнал и выполнения отдельной сигнализации от сигнального и отключающих элементов газового реле (различающейся характером сигнала).

Допускается выполнение газовой защиты с действием отключающего элемента только на сигнал:

на трансформаторах, которые установлены в районах, подверженных землетрясениям;

на внутрицеховых понижающих трансформаторах мощностью 2,5 МВ·А и менее, не имеющих выключателей со стороны высшего напряжения.

3.2.54. Для защиты от повреждений на выводах, а также от внутренних повреждений должны быть предусмотрены:



1. Продольная дифференциальная токовая защита без выдержки времени на трансформаторах мощностью 6,3 МВ·А и более, на шунтирующих реакторах 500 кВ, а также на трансформаторах мощностью 4 МВ·А при параллельной работе последних с целью селективного отключения поврежденного трансформатора.

Дифференциальная защита может быть предусмотрена на трансформаторах меньшей мощности, но не менее 1 МВ·А, если:

токовая отсечка не удовлетворяет требованиям чувствительности, а максимальная токовая защита имеет выдержку времени более 0,5 с;

трансформатор установлен в районе, подверженном землетрясениям.

2. Токовая отсечка без выдержки времени, устанавливаемая со стороны питания и охватывающая часть обмотки трансформатора, если не предусматривается дифференциальная защита.

Указанные защиты должны действовать на отключение всех выключателей трансформатора.

3.2.55. Продольная дифференциальная токовая защита должна осуществляться с применением специальных реле тока, отстроенных от бросков тока намагничивания, переходных и установившихся токов небаланса (например, насыщающиеся трансформаторы тока, тормозные обмотки).

На трансформаторах мощностью до 25 МВ·А допускается выполнение защиты с реле тока, отстроенными по току срабатывания от бросков тока намагничивания и переходных значений токов небаланса (дифференциальная отсечка), если при этом обеспечивается требуемая чувствительность.

Продольная дифференциальная защита должна быть выполнена так, чтобы в зону ее действия входили соединения трансформатора со сборными шинами.

Допускается использование для дифференциальной защиты трансформаторов тока, встроенных в трансформатор, при наличии защиты, обеспечивающей отключение (с требуемым быстродействием) КЗ в соединениях трансформатора со сборными шинами.

Если в цепи низшего напряжения трансформатора установлен реактор и защита трансформатора не обеспечивает требования чувствительности при КЗ за реактором, допускается установка трансформаторов тока со стороны выводов низшего напряжения трансформатора для осуществления защиты реактора.

3.2.56. На дифференциальную и газовую защиты трансформаторов, автотрансформаторов и шунтирующих реакторов не должны возлагаться функции датчиков пуска установки пожаротушения. Пуск схемы пожаротушения указанных элементов должен осуществляться от специального устройства обнаружения пожара.

3.2.57. Устройство контроля изоляции вводов (КИВ) 500 кВ должно быть выполнено с действием на сигнал при частичном пробое изоляции вводов, не требующем немедленного отключения, и на отключение при повреждении изоляции ввода (до того, как произойдет полный пробой изоляции).

Должна быть предусмотрена блокировка, предотвращающая ложные срабатывания устройства КИВ при обрывах в цепях присоединения КИВ к выводам.

3.2.58. В случаях присоединения трансформаторов (кроме внутрицеховых) к линиям без выключателей (например, по схеме блока линия - трансформатор) для отключения повреждений в трансформаторе должно быть предусмотрено одно из следующих мероприятий:

1. Установка короткозамыкателя для искусственного замыкания на землю одной фазы (для сети с глухозаземленной нейтралью) или двух фаз между собой (для сети с изолированной нейтралью) и, если это необходимо, отделителя, автоматически отключающегося в бестоковую паузу АПВ линии. Коротко замыкатель должен быть установлен вне зоны дифференциальной защиты трансформатора.

2. Установка на стороне высшего напряжения понижающего трансформатора открытых плавких вставок, выполняющих функции короткозамыкателя и отделителя, в сочетании с АПВ линии.

3. Передача отключающего сигнала на выключатель (или выключатели) линии; при этом, если необходимо, устанавливается отделитель; для резервирования передачи отключающего сигнала допускается установка короткозамыкателя.

При решении вопроса о необходимости применения передачи отключающего сигнала взамен мероприятий п. 1 и 2 должно учитываться следующее:

ответственность линии и допустимость искусственного создания на ней металлического КЗ;

мощность трансформатора и допустимое время ликвидации повреждения в нем;

удаленность подстанции от питающего конца линии и способность выключателя отключать удаленные КЗ;

характер потребителя с точки зрения требуемой скорости восстановления напряжения;

вероятность отказов короткозамыкателя при низких температурах и гололеде.

4. Установка предохранителей на стороне высшего напряжения понижающего трансформатора.

Мероприятия п. 1-4 могут не предусматриваться для блоков линия - трансформатор, если при двустороннем питании трансформатор защищается общей защитой блока (высокочастотной или продольной дифференциальной специального назначения), а также при мощности трансформатора 25 МВ·А и менее при одностороннем питании, если защита питающей линии обеспечивает также защиту трансформатора (быстродействующая защита линии частично защищает трансформатор и резервная защита линии с временем не более 1 с защищает весь трансформатор); при этом газовая защита выполняется с действием отключающего элемента только на сигнал.

В случае применения мероприятий п. 1 или 3 на трансформаторе должны быть установлены:

при наличии на стороне высшего напряжения трансформатора (110 кВ и выше) встроенных трансформаторов тока - защиты по 3.2.53, 3.2.54, 3.2.59 и 3.2.60;

при отсутствии встроенных трансформаторов тока - дифференциальная (в соответствии с 3.2.54) или максимальная токовая защита, выполненная с использованием накладных или магнитных трансформаторов тока, и газовая защита по 3.2.53.

Повреждения на выводах высшего напряжения трансформаторов допускается ликвидировать защитой линии.

В отдельных случаях при отсутствии встроенных трансформаторов тока допускается применение выносных трансформаторов тока, если при использовании накладных или магнитных трансформаторов тока не обеспечиваются требуемые характеристики защиты.

Для защиты трансформаторов с высшим напряжением 35 кВ в случае применения мероприятия п. 1 должны предусматриваться выносные трансформаторы тока; при этом целесообразность установки короткозамыкателя и выносных трансформаторов тока или выключателя с встроенными трансформаторами тока должна быть обоснована технико-экономическим расчетом.

Если применены открытые плавкие вставки (см. п. 2), то для повышения чувствительности действие газовой защиты может осуществляться на выполнение механическим путем искусственного КЗ на вставках.

Если в нагрузках трансформаторов подстанций содержатся синхронные электродвигатели, то должны быть приняты меры по предотвращению отключения отделителем (при КЗ в одном из трансформаторов) тока от синхронных электродвигателей, идущего через другие трансформаторы.

3.2.59. На трансформаторах мощностью 1 МВ·А и более в качестве защиты от токов в обмотках, обусловленных внешними многофазными КЗ, должны быть предусмотрены следующие защиты с действием на отключение:

1. На повышающих трансформаторах с двусторонним питанием - токовая защита обратной последовательности от несимметричных КЗ и максимальная токовая защита с минимальным пуском напряжения от симметричных КЗ или максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения (см. 3.2.43).

2. На понижающих трансформаторах - максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения или без него; на мощных понижающих трансформаторах при наличии двустороннего питания можно применять токовую защиту обратной последовательности от несимметричных КЗ и максимальную токовую защиту с минимальным пуском напряжения от симметричных КЗ.

При выборе тока срабатывания максимальной токовой защиты необходимо учитывать возможные токи перегрузки при отключении параллельно работающих трансформаторов и ток самозапуска электродвигателей, питающихся от трансформаторов.

На понижающих автотрансформаторах 330 кВ и выше следует предусматривать дистанционную защиту для действия при внешних многофазных КЗ в случаях, когда это требуется для обеспечения дальнего резервирования или согласования защит смежных напряжений; в этих случаях указанную защиту допускается устанавливать на автотрансформаторах 220 кВ.

3.2.60. На трансформаторах мощностью менее 1 МВ·А (повышающих и понижающих) в качестве защиты от токов, обусловленных внешними многофазными КЗ, должна быть предусмотрена действующая на отключение максимальная токовая защита.

3.2.61. Защиту от токов, обусловленных внешними многофазными КЗ, следует устанавливать:

- 1) на двухобмоточных трансформаторах - со стороны основного питания;
- 2) на многообмоточных трансформаторах, присоединенных тремя и более выключателями, - со всех сторон трансформатора; допускается не устанавливать защиту на одной из сторон трансформатора, а выполнять ее со стороны основного питания, так чтобы она с меньшей выдержкой времени отключала выключатели с той стороны, на которой защита отсутствует;
- 3) на понижающем двухобмоточном трансформаторе, питающем отдельно работающие секции, - со стороны питания и со стороны каждой секции;
- 4) при применении накладных трансформаторов тока на стороне высшего напряжения - со стороны низшего напряжения на двухобмоточном трансформаторе и со стороны низшего и среднего напряжений на трехобмоточном трансформаторе.

Допускается защиту от токов, обусловленных внешними многофазными КЗ, предусматривать только для резервирования защит смежных элементов и не предусматривать для действия при отказе основных защит трансформаторов, если выполнение для такого действия приводит к значительному усложнению защиты.

При выполнении защиты от токов, обусловленных внешними многофазными КЗ, по 3.2.59, п. 2, должны также рассматриваться необходимость и возможность дополнения ее токовой отсечкой, предназначенной для отключения с меньшей выдержкой времени КЗ на шинах среднего и низшего напряжений (исходя из уровня токов КЗ, наличия отдельной защиты шин, возможности согласования с защитами отходящих элементов).

3.2.62. Если защита повышающих трансформаторов от токов, обусловленных внешними многофазными КЗ, не обеспечивает требуемых чувствительности и селективности, то для защиты трансформатора допускается использовать реле тока соответствующей защиты генераторов.

3.2.63. На повышающих трансформаторах мощностью 1 МВ·А и более, на трансформаторах с двух- и трехсторонним питанием и на автотрансформаторах по условию необходимости резервирования отключения замыканий на землю на смежных элементах, а на автотрансформаторах, кроме того, и по условию обеспечения селективности защит от замыканий на землю сетей разных напряжений должна быть предусмотрена токовая защита нулевой

последовательности от внешних замыканий на землю, устанавливаемая со стороны обмотки, присоединенной к сети с большими токами замыкания на землю.

При наличии части трансформаторов (из числа имеющих неполную изоляцию обмотки со стороны нулевого вывода) с изолированной нейтралью должно обеспечиваться предотвращение недопустимого режима нейтрали этих трансформаторов в соответствии с 3.2.28. С этой целью в случаях, когда на электростанции или подстанции установлены трансформаторы с заземленной и изолированной нейтралью, имеющие питание со сторон низших напряжений, должна быть предусмотрена защита, обеспечивающая отключение трансформатора с изолированной нейтралью или ее автоматическое заземление до отключения трансформаторов с заземленной нейтралью, работающих на те же шины или участок сети.

3.2.64. На автотрансформаторах (многообмоточных трансформаторах) с питанием с нескольких сторон защиту от токов, вызванных внешними КЗ, необходимо выполнять направленной, если это требуется по условиям селективности.

3.2.65. На автотрансформаторах 220-500 кВ подстанций, блоках генератор - трансформатор 330-500 кВ и автотрансформаторах связи 220-500 кВ электростанций должна быть предусмотрена возможность оперативного ускорения защит от токов, обусловленных внешними КЗ, при выводе из действия дифференциальных защит шин или ошиновки, обеспечивающего отключение поврежденных на элементах, оставшихся без быстродействующей защиты с выдержкой времени около 0,5 с.

3.2.66. На понижающих трансформаторах и блоках трансформатор - магистраль с высшим напряжением до 35 кВ и соединением обмотки низшего напряжения в звезду с заземленной нейтралью следует предусматривать защиту от однофазных замыканий на землю в сети низшего напряжения, осуществляемую применением:

1) максимальной токовой защиты от внешних КЗ, устанавливаемой на стороне высшего напряжения, и, если это требуется по условию чувствительности, в трехрелейном исполнении;

2) автоматических выключателей или предохранителей на выводах низшего напряжения;

3) специальной защиты нулевой последовательности, устанавливаемой в нулевом проводе трансформатора (при недостаточной чувствительности защит по п. 1 и 2).

Для промышленных электроустановок, если сборка на стороне низшего напряжения с аппаратами защиты присоединений находится в непосредственной близости от трансформатора (до 30 м) или соединение между трансформатором и сборкой выполнено трехфазными кабелями, допускается защиту по п. 3 не применять.

При применении защиты по п. 3 допускается не согласовывать ее с защитами элементов, отходящих от сборки на стороне низшего напряжения.

Для схемы линия - трансформатор в случае применения защиты по п. 3 допускается не прокладывать специальный контрольный кабель для обеспечения действия этой защиты на выключатель со стороны высшего напряжения и выполнять ее с действием на автоматический выключатель, установленный на стороне низшего напряжения.

Требования настоящего параграфа распространяются также на защиту указанных трансформаторов предохранителями, установленными на стороне высшего напряжения.

3.2.67. На стороне низшего напряжения понижающих трансформаторов с высшим напряжением 3-10 кВ, питающих сборки с присоединениями, защищенными предохранителями, следует устанавливать главный предохранитель или автоматический выключатель.

Если предохранители на присоединениях низшего напряжения и предохранители (или релейная защита) на стороне высшего напряжения обслуживаются и находятся в ведении одного и того же персонала (например, только персонала энергосистемы или только персонала потребителя), то главный предохранитель или автоматический выключатель на стороне низшего напряжения трансформатора может не устанавливаться.

3.2.68. Защита от однофазных замыканий на землю по 3.2.51, п. 8, должна быть выполнена в соответствии с 3.2.97.

3.2.69. На трансформаторах мощностью 0,4 МВ·А и более в зависимости от вероятности и значения возможной перегрузки следует предусматривать максимальную токовую защиту от токов, обусловленных перегрузкой, с действием на сигнал.

Для подстанций без постоянного дежурства персонала допускается предусматривать действие этой защиты на автоматическую разгрузку или отключение (при невозможности ликвидации перегрузки другими средствами).

3.2.70. При наличии со стороны нейтрали трансформатора отдельного добавочного трансформатора для регулирования напряжения под нагрузкой необходимо предусматривать в дополнение к указанным в 3.2.51-3.2.57, 3.2.59, 3.2.63 следующие защиты:

газовую защиту добавочного трансформатора;

максимальную токовую защиту с торможением при внешних КЗ от повреждений в первичной обмотке добавочного трансформатора, за исключением случаев, когда эта обмотка включается в зону действия дифференциальной токовой защиты цепей стороны низшего напряжения автотрансформатора;

дифференциальную защиту, которая охватывает вторичную обмотку добавочного трансформатора.

3.2.71. Защиту линейного добавочного трансформатора, установленного со стороны низшего напряжения автотрансформатора, следует осуществлять:

газовой защитой собственно добавочного трансформатора и защитой контакторного устройства РПН, которая может быть выполнена с применением реле давления или отдельного газового реле;

дифференциальной токовой защитой цепей стороны низшего напряжения автотрансформатора.

## **ЗАЩИТА БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР - ТРАНСФОРМАТОР**

3.2.72. Для блоков генератор - трансформатор с генераторами мощностью более 10 МВт должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы:

- 1) замыканий на землю на стороне генераторного напряжения;
- 2) многофазных замыканий в обмотке статора генератора и на его выводах;
- 3) замыканий между витками одной фазы в обмотке статора турбогенератора (в соответствии с 3.2.76);
- 4) многофазных замыканий в обмотках и на выводах трансформатора;
- 5) однофазных замыканий на землю в обмотке трансформатора и на ее выводах, присоединенных к сети с большими токами замыкания на землю;
- 6) замыканий между витками в обмотках трансформатора;
- 7) внешних КЗ;
- 8) перегрузки генератора токами обратной последовательности (для блоков с генераторами мощностью более 30 МВт);
- 9) симметричной перегрузки обмотки статора генератора и обмоток трансформатора;
- 10) перегрузки обмотки ротора генератора током возбуждения (для турбогенераторов с непосредственным охлаждением проводников обмоток и для гидрогенераторов);

11) повышения напряжения на статоре генератора и трансформаторе блока (для блоков с турбогенераторами мощностью 160 МВт и более и для всех блоков с гидрогенераторами);

12) замыканий на землю в одной точке цепи возбуждения (в соответствии с 3.2.85);

13) замыканий на землю во второй точке цепи возбуждения турбогенератора мощностью менее 160 МВт;

14) асинхронного режима с потерей возбуждения<sup>1</sup> (в соответствии с 3.2.86);

<sup>1</sup> О предотвращении асинхронного режима без потери возбуждения см. гл. 3.3.

15) понижения уровня масла в баке трансформатора;

16) частичного пробоя изоляции вводов 500 кВ трансформаторов.

3.2.73. Указания по выполнению защиты генераторов и повышающих трансформаторов, относящихся к их отдельной работе, действительны и для того случая, когда они объединены в блок генератор-трансформатор (автотрансформатор), с учетом требований, приведенных в 3.2.74-3.2.90.

3.2.74. На блоках с генераторами мощностью более 30 МВт, как правило, должна быть предусмотрена защита от замыканий на землю в цепи генераторного напряжения, охватывающая всю обмотку статора.

При мощности генератора блоков 30 МВт и менее следует применять устройства, защищающие не менее 85% обмотки статора. Применение таких устройств допускается также на блоках с турбогенераторами мощностью от 30 до 160 МВт, если для защиты всей обмотки статора требуется включение в цепь генератора дополнительной аппаратуры.

Защита должна быть выполнена с действием на отключение с выдержкой времени не более 0,5 с на всех блоках без ответвлений на генераторном напряжении и с ответвлениями к трансформаторам собственных нужд. На блоках, имеющих электрическую связь с сетью собственных нужд или потребителей, питающихся по линиям от ответвлений между генератором и трансформатором, если емкостный ток замыканий на землю составляет 5 А и более, должны быть установлены действующие на отключение защиты от замыканий на землю в обмотке статора генератора и от двойных замыканий на землю, как это предусматривается на генераторах, работающих на сборные шины (см. 3.2.38 и 3.2.39); если емкостный ток замыкания на землю составляет менее 5 А, то защита от замыканий на землю может быть выполнена так же, как на блоках без ответвлений на генераторном напряжении, но с действием на сигнал.

При наличии выключателя в цепи генератора должна быть дополнительно предусмотрена сигнализация замыканий на землю на стороне генераторного напряжения трансформатора блока.

3.2.75. На блоке с генератором, имеющим косвенное охлаждение, состоящем из одного генератора и одного трансформатора, при отсутствии выключателя в цепи генератора рекомендуется предусматривать одну общую продольную дифференциальную защиту блока. При наличии выключателя в цепи генератора на генераторе и трансформаторе должны быть установлены отдельные дифференциальные защиты.

При использовании в блоке двух трансформаторов вместо одного, а также при работе двух и более генераторов без выключателей в блоке с одним трансформатором (укрупненный блок) на каждом генераторе и трансформаторе мощностью 125 МВ·А и более должна быть предусмотрена отдельная продольная дифференциальная защита. При отсутствии встроенных трансформаторов тока на вводах низшего напряжения этих трансформаторов допускается применение общей дифференциальной защиты для двух трансформаторов.

На блоке с генератором, имеющим непосредственное охлаждение проводников обмоток, следует предусматривать отдельную продольную дифференциальную защиту генератора. При этом, если в цепи генератора имеется выключатель, то должна быть установлена отдельная дифференциальная защита трансформатора блока (или каждого трансформатора если в блоке с генератором работают два трансформатора или более; при отсутствии встроенных трансформаторов тока на вводах низшего напряжения этих трансформаторов допускается применение общей дифференциальной защиты для трансформаторов блока); при отсутствии выключателя для защиты трансформатора блока следует установить либо отдельную

дифференциальную защиту, либо общую продольную дифференциальную защиту блока (для блоков, состоящих из одного генератора и одного трансформатора, предпочтительна общая дифференциальная защита блока).

Со стороны высшего напряжения дифференциальная защита трансформатора (блока) может быть включена на трансформаторы тока, встроенные в трансформатор блока. При этом для защиты ошиновки между выключателями на стороне высшего напряжения и трансформатором блока должна быть установлена отдельная защита.

Отдельная дифференциальная защита генераторов должна быть выполнена трехфазной трехрелейной с током срабатывания аналогично указанному в 3.2.36.

Для резервирования указанных дифференциальных защит на блоках с генераторами мощностью 160 МВт и более, имеющими непосредственное охлаждение проводников обмоток, следует предусматривать резервную дифференциальную защиту, охватывающую генератор и трансформатор блока вместе с ошиновкой на стороне высшего напряжения.

Рекомендуется установка резервной дифференциальной защиты блоков и при мощности генераторов с непосредственным охлаждением проводников обмоток менее 160 МВт.

При применении резервной дифференциальной защиты на блоках без выключателя в цепи генератора рекомендуется предусматривать отдельные основные дифференциальные защиты генератора и трансформатора.

При наличии выключателя в цепи генератора резервная дифференциальная защита должна выполняться с выдержкой времени 0,35-0,5 с.

3.2.76. На турбогенераторах с двумя или тремя параллельными ветвями обмотки статора должна быть предусмотрена односистемная поперечная дифференциальная защита от витковых замыканий в одной фазе, действующая без выдержки времени.

3.2.77. На блоках с генераторами мощностью 160 МВт и более с непосредственным охлаждением проводников обмоток должна быть предусмотрена токовая защита обратной последовательности с интегральной зависимой характеристикой, соответствующей характеристике допустимых перегрузок защищаемого генератора токами обратной последовательности. Защита должна действовать на отключение выключателя генератора, а при его отсутствии - на отключение блока от сети. Для резервирования защит смежных с блоками элементов указанная защита должна иметь орган с независимой выдержкой времени, действующий на отключение блока от сети и двухступенчатым действием согласно 3.2.81.

На блоках с генераторами мощностью менее 160 МВт, имеющими непосредственное охлаждение проводников обмоток, а также на блоках с гидрогенераторами мощностью более 30 МВт, имеющими косвенное охлаждение, токовую защиту обратной последовательности следует выполнять со ступенчатой или зависимой выдержкой времени. При этом разные ступени защиты могут иметь одну или более выдержек времени (см. 3.2.81, п. 4). Указанная ступенчатая или зависимая выдержка времени должна быть согласована с характеристикой допустимых перегрузок генератора током обратной последовательности (см. 3.2.41).

На блоках с турбогенераторами с косвенным охлаждением мощностью более 30 МВт защита должна быть выполнена согласно 3.2.41.

Кроме защит, действующих на отключение, на всех блоках с турбогенераторами мощностью более 30 МВт должна быть предусмотрена сигнализация перегрузки токами обратной последовательности, выполняемая в соответствии с 3.2.41.

3.2.78. На блоках с генераторами мощностью более 30 МВт защита от внешних симметричных КЗ должна быть выполнена, как указано в 3.2.42. При этом для гидрогенераторов напряжение срабатывания защиты следует принимать около 0,6-0,7 номинального. На блоках с турбогенераторами, имеющими резервный возбудитель, указанная защита должна быть дополнена токовым реле, включенным на ток со стороны высшего напряжения блока.

На блоках с генераторами мощностью 60 МВт и более вместо указанной защиты рекомендуется применять дистанционную защиту. На блоках с генераторами, имеющими непосредственное охлаждение проводников обмоток, вместо резервной дифференциальной защиты (см. 3.2.75) допускается устанавливать двухступенчатую дистанционную защиту от междуфазных коротких замыканий.

Первая ступень этой защиты, осуществляющая ближнее резервирование, должна выполняться с блокировкой при качаниях и действовать, как указано в 3.2.81, п. 3, с выдержкой времени не более 1 с. Первая ступень должна надежно охватывать трансформатор блока при обеспечении селективности с защитами смежных элементов. Резервирование первой ступенью защит генератора обязательно, если на блоке применяются отдельные дифференциальные защиты трансформатора и генератора.

Вторая ступень, осуществляющая дальнее резервирование, должна действовать, как указано в 3.2.81, п. 2.

Рекомендуется установка двухступенчатой дистанционной защиты и при наличии резервной дифференциальной защиты с целью увеличения эффективности дальнего резервирования. Обе ступени дистанционной защиты в этом случае должны действовать, как указано в 3.2.81, п. 2.

3.2.79. Защиту от внешних КЗ на блоках с генераторами мощностью 30 МВт и менее следует выполнять в соответствии с 3.2.43. Параметры срабатывания защиты на блоках с гидрогенераторами следует принимать согласно 3.2.42, 3.2.43 и 3.2.78.

3.2.80. На блоках генератор - трансформатор с выключателем в цепи генератора при отсутствии резервной дифференциальной защиты блока должна быть предусмотрена максимальная токовая защита со стороны высшего напряжения блока, предназначенная для резервирования основных защит трансформатора блока при работе с отключенным генератором.

3.2.81. Резервная защита блоков генератор - трансформатор должна быть выполнена с учетом следующего:

1. На стороне генераторного напряжения трансформатора блока защита не устанавливается, а используется защита генератора.

2. При дальнем резервировании защита должна действовать, как правило, с двумя выдержками времени: с первой - на деление схемы на стороне высшего напряжения блока (например, на отключение шиносоединительного и секционного выключателей), со второй - на отключение блока от сети.

3. При ближнем резервировании должны производиться отключение блока (генератора) от сети, гашение поля генератора и останов блока, если это требуется по 3.2.89.

4. Отдельные ступени или устройства резервной защиты в зависимости от их назначения и целесообразности использования при дальнем и ближнем резервировании могут иметь одну, две или три выдержки времени.

5. Органы пуска напряжения защит по 3.2.78 и 3.2.79 рекомендуется предусматривать со стороны генераторного напряжения и со стороны сети.

6. Для основных и резервных защит блока, как правило, должны быть предусмотрены отдельные выходные реле и питание оперативным постоянным током от разных автоматических выключателей.

3.2.82. На блоках с турбогенераторами защиту от симметричных перегрузок статора следует выполнять так же, как на генераторах, работающих на сборные шины (см. 3.2.47).

На гидроэлектростанциях без постоянного дежурства оперативного персонала кроме сигнализации симметричных перегрузок должна быть предусмотрена защита с независимой характеристикой, действующая с большей выдержкой времени на отключение блока (генератора) и с меньшей - на разгрузку. Вместо указанной защиты могут быть использованы соответствующие устройства в системе регулирования возбуждения.

3.2.83. На генераторах мощностью 160 МВт и более с непосредственным охлаждением проводников обмоток защита от перегрузки обмотки ротора током возбуждения должна быть выполнена с интегральной зависимой выдержкой времени, которая соответствует характеристике допустимых перегрузок генератора током возбуждения. Эта защита должна действовать на отключение.

При невозможности включения защиты на ток ротора (например, при бесщеточном возбуждении) допускается применение защиты с независимой выдержкой времени, реагирующей на повышение напряжения в цепи возбуждения.



В защите должна быть предусмотрена возможность действия с меньшей выдержкой времени на снижение тока возбуждения. При наличии устройств ограничения перегрузки в регуляторе возбуждения действие на разгрузку может осуществляться одновременно от этих устройств и от защиты ротора. Допускается также использовать устройство ограничения перегрузки в АРВ для действия на разгрузку (с двумя выдержками времени) и отключение. При этом защита с интегральной зависимой выдержкой времени может не устанавливаться.

На турбогенераторах мощностью менее 160 МВт с непосредственным охлаждением проводников обмоток и на гидрогенераторах мощностью более 30 МВт с косвенным охлаждением защиту следует выполнять аналогично тому, как указано в 3.2.46.

При наличии устройств группового управления возбуждением на генераторах рекомендуется выполнять защиту с зависимой выдержкой времени.

При работе генераторов с резервным возбудителем защита ротора от перегрузки должна оставаться в работе. При невозможности использования защиты с зависимой выдержкой времени допускается предусматривать на резервном возбудителе защиту с независимой выдержкой времени.

3.2.84. На блоках с турбогенераторами мощностью 160 МВт и более для предотвращения повышения напряжения в режиме холостого хода должна быть предусмотрена защита от повышения напряжения, которая автоматически выводится из действия при работе генератора на сеть. При действии защиты должно быть обеспечено гашение поля генератора и возбудителя.

На блоках с гидрогенераторами для предотвращения повышения напряжения при сбросах нагрузки должна быть предусмотрена защита от повышения напряжения. Защита должна действовать на отключение блока (генератора) и гашение поля генератора. Допускается действие защиты на останов агрегата.

3.2.85. Защита от замыканий на землю в одной точке цепи возбуждения должна быть предусмотрена на гидрогенераторах, на турбогенераторах с водяным охлаждением обмотки ротора и на всех турбогенераторах мощностью 300 МВт и выше. На гидрогенераторах защита должна действовать на отключение, а на турбогенераторах - на сигнал.

Защита от замыканий на землю во второй точке цепи возбуждения турбогенераторов должна быть установлена на блоках мощностью менее 160 МВт в соответствии с 3.2.48.

3.2.86. На блоках с турбогенераторами мощностью 160 МВт и более, имеющими непосредственное охлаждение проводников обмоток, и с гидрогенераторами следует предусматривать устройства защиты от асинхронного режима с потерей возбуждения.

Указанные устройства рекомендуется применять и на турбогенераторах мощностью менее 160 МВт с непосредственным охлаждением проводников обмоток. На этих турбогенераторах допускается также предусматривать автоматическое выявление асинхронного режима только по отключенному положению устройств автоматического гашения поля (без применения защиты от асинхронного режима).

При переводе в асинхронный режим турбогенератора, потерявшего возбуждение, указанные выше устройства защиты или автоматического гашения поля должны действовать на сигнал о потере возбуждения и производить автоматическое переключение нагрузки собственных нужд в ответвлении блока, генератор которого потерял возбуждение, на резервный источник питания.

Все гидрогенераторы и турбогенераторы, не допускающие асинхронного режима, а также остальные турбогенераторы в условиях дефицита реактивной мощности в системе при действии указанных устройств должны отключаться от сети.

3.2.87. При наличии выключателя в цепи генератора с непосредственным охлаждением проводников обмоток следует предусматривать резервирование при отказе этого выключателя (например, применением УРОВ).

3.2.88. УРОВ 110 кВ и выше на электростанциях должно быть выполнено с учетом следующего:

1. Для предотвращения излишнего отключения нескольких блоков резервной защитой при возникновении на одном из них неполнофазного режима в результате отказа выключателя с пофазным приводом при его отключении на электростанциях с генераторами, имеющими непосредственное охлаждение проводников обмоток, должен быть предусмотрен ускоренный

запуск УРОВ (например, от токовой защиты нулевой последовательности трансформатора блока со стороны сети с большим током замыкания на землю).

2. Для электростанций, на которых блоки генератор - трансформатор и линии имеют общие выключатели (например, при применении полуторной схемы или схемы многоугольника), необходимо предусматривать устройство телеотключения для отключения выключателя и запрета АПВ на противоположном конце линии при действии УРОВ в случае его пуска от защиты блока. Кроме того, следует предусматривать действие УРОВ на останов передатчика высокочастотной защиты.

3.2.89. При действии на отключение защит статора генератора и трансформатора блока от внутренних повреждений, а также защит ротора генератора должно производиться отключение поврежденного элемента от сети, гашение поля генератора и возбудителя, пуск УРОВ и осуществляться воздействие на технологические защиты.

Если отключение от защиты приводит к обесточиванию нагрузки собственных нужд, присоединенной ответвлением к блоку, защита должна действовать также на отключение выключателей в цепи рабочего источника питания собственных нужд для их перевода на питание от резервного источника с помощью АВР.

Резервные защиты генератора и трансформатора блока при внешних повреждениях должны действовать в соответствии с 3.2.81, п. 2-4.

На тепловых электростанциях с блочной схемой в тепловой части в случаях отключения блока при внутренних повреждениях должен обеспечиваться полный останов блока. При внешних повреждениях, а также при действии защит в тех случаях, когда может быть быстро восстановлена работа блока, блок должен переводиться в режим холостого хода, если этот режим допускается тепломеханическим оборудованием.

На гидроэлектростанциях при внутренних повреждениях блока кроме отключения блока должен производиться останов агрегата. Действие на останов агрегата допускается осуществлять также при отключении блока в результате внешних повреждений.

3.2.90. На блоках генератор - трансформатор - линия основная защита линии и резервная защита со стороны энергосистемы должны быть выполнены в соответствии с требованиями настоящей главы по защите линий, а со стороны блока функции резервной защиты линии должны выполняться резервными защитами блока.

Защита блока должна быть выполнена согласно приведенным выше требованиям.

Действие защиты блока на отключение выключателя и пуск УРОВ со стороны энергосистемы должно передаваться с помощью двух взаиморезервируемых устройств телеотключения по высокочастотному каналу или по проводам связи. Кроме того, рекомендуется предусматривать одновременное действие защиты блока на останов передатчика высокочастотной защиты.

На блоках с турбогенераторами (при блочной схеме в тепловой части) со стороны энергосистемы должно передаваться с помощью устройства телеотключения на противоположный конец линии действие защиты шин (при двойной системе шин) или действие УРОВ (при полуторной схеме или схеме многоугольника) соответственно на перевод блока в режим холостого хода или на гашение поля генератора и останов блока. Кроме того, рекомендуется использовать устройство телеотключения для ускорения гашения поля генератора и отключение собственных нужд при действии резервных защит со стороны энергосистемы.

При неполнофазном отключении выключателя со стороны сети с большим током замыкания на землю, должен производиться ускоренный запуск УРОВ так же, как это предусмотрено в 3.2.88, п. 1.

## **ЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ И КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 3-10 кВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ**

3.2.91. Для линий в сетях 3-10 кВ с изолированной нейтралью (в том числе и с нейтралью, заземленной через дугогасительный реактор) должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от многофазных замыканий и от однофазных замыканий на землю.

3.2.92. Защиту от многофазных замыканий следует предусматривать в двухфазном исполнении и включать в одни и те же фазы по всей сети данного напряжения для обеспечения отключения в большинстве случаев двойных замыканий на землю только одного места повреждения.

Защита должна быть выполнена одно-, двух- или трехрелейной в зависимости от требований чувствительности и надежности.

3.2.93. На одиночных линиях с односторонним питанием от многофазных замыканий должна устанавливаться, как правило, двухступенчатая токовая защита, первая ступень которой выполнена в виде токовой отсечки, а вторая - в виде максимальной токовой защиты с независимой или зависимой характеристикой выдержки времени.

На нереактированных кабельных линиях с односторонним питанием, отходящих от шин электростанций, токовые отсечки должны быть выполнены без выдержки времени и зона их действия должна быть определена из условия отключения КЗ, сопровождающихся остаточным напряжением на шинах указанных электростанций ниже 0,5-0,6 номинального. Для выполнения указанного условия допускается выполнять защиту неселективной в сочетании с устройствами АПВ или АВР, исправляющими полностью или частично неселективное действие защиты. Допускается устанавливать указанные отсечки также на линиях, отходящих от шин подстанций и питающих крупные синхронные электродвигатели.

Если на нереактированных кабельных линиях с односторонним питанием, отходящих от шин электростанций, токовые отсечки не могут быть применены по требованиям селективности, то для обеспечения быстродействия допускается предусматривать защиты по 3.2.94, п. 2 или 3. Применение этих защит допускается также для рабочих линий собственных нужд тепловых электростанций.

На реактированных линиях, выключатели которых не рассчитаны на отключение КЗ до реактора, токовые отсечки не допускаются.

3.2.94. На одиночных линиях с двусторонним питанием при наличии или отсутствии обходных связей, а также на линиях, входящих в кольцевую сеть с одной точкой питания, рекомендуется применять те же защиты, что и на одиночных линиях с односторонним питанием (см. 3.2.93), выполняя их при необходимости направленными.

В целях упрощения защит и обеспечения их селективного действия допускается применять автоматическое деление сети на радиальные участки в момент возникновения повреждения с последующим автоматическим ее восстановлением.

Если ненаправленная или направленная токовая ступенчатая защита не обеспечивает требуемых быстродействия и селективности, допускается предусматривать следующие защиты:

- 1) дистанционную защиту в простейшем исполнении;
- 2) поперечную дифференциальную токовую защиту (для сдвоенных кабельных линий);
- 3) продольную дифференциальную токовую защиту для коротких участков линий; при необходимости прокладки специального кабеля только для продольной дифференциальной защиты длина его должна быть не более 3 км.

Для защит, указанных в п. 2 и 3, в качестве резервной защиты следует предусматривать токовую защиту.

3.2.95. При выполнении защиты параллельных линий 3-10 кВ следует руководствоваться указаниями для параллельных линий в сетях 35 кВ (см. 3.2.104).

3.2.96. Защита от однофазных замыканий на землю должна быть выполнена в виде:

селективной защиты (устанавливающей поврежденное направление), действующей на сигнал;

селективной защиты (устанавливающей поврежденное направление), действующей на отключение, когда это необходимо по требованиям безопасности; защита должна быть установлена на питающих элементах во всей электрически связанной сети;

устройства контроля изоляции; при этом отыскание поврежденного элемента должно осуществляться специальными устройствами; допускается отыскание поврежденного элемента поочередным отключением присоединений.

3.2.97. Защита от однофазных замыканий на землю должна быть выполнена, как правило, с использованием трансформаторов тока нулевой последовательности. Защита в первую очередь должна реагировать на установившиеся замыкания на землю; допускается также применение устройств, регистрирующих кратковременные замыкания, без обеспечения повторности действия.

Защита от однофазных замыканий на землю, действующая на отключение без выдержки времени по требованиям безопасности (см. 3.2.96), должна отключать только элемент, питающий поврежденный участок; при этом в качестве резервной должна быть предусмотрена защита, выполняемая в виде защиты нулевой последовательности с выдержкой времени около 0,5 с, действующая на отключение всей электрически связанной сети - системы (секции) шин или питающего трансформатора.

Увеличение тока промышленной частоты специально для обеспечения действия защиты в сети с нейтралью, заземленной через дугогасительный реактор (например, с помощью расстройки реактора), как правило, не допускается предусматривать.

## **ЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ И КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 20 И 35 кВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ**

3.2.98. Для линий в сетях 20 и 35 кВ с изолированной нейтралью должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от многофазных замыканий и от однофазных замыканий на землю.

3.2.99. Защиту от многофазных замыканий следует предусматривать в двухфазном двухрелейном исполнении и включать в одни и те же фазы по всей сети данного напряжения для обеспечения отключения в большинстве случаев двойных замыканий на землю только одного места повреждения. В целях повышения чувствительности к повреждениям за трансформаторами с соединением обмоток звезда-треугольник допускается выполнение трехрелейной защиты.

Защиту от однофазных замыканий на землю следует выполнять, как правило, с действием на сигнал. Для осуществления защиты допускается использовать устройство контроля изоляции.

3.2.100. При выборе типа основной защиты следует учитывать требования обеспечения устойчивости работы энергосистемы и надежной работы потребителя аналогично тому, как это учитывается для защиты линий напряжением 110 кВ (см. 3.2.108).

3.2.101. На одиночных линиях с односторонним питанием от многофазных замыканий должны быть установлены преимущественно ступенчатые защиты тока или ступенчатые защиты тока и напряжения, а если такие защиты не удовлетворяют требованиям чувствительности или скорости отключения повреждения (см. 3.2.108), например на головных участках, - дистанционная ступенчатая защита преимущественно с пуском по току. В последнем случае в качестве дополнительной защиты рекомендуется использовать токовую отсечку без выдержки времени.

Для линий, состоящих из нескольких последовательных участков, в целях упрощения допускается использование неселективных ступенчатых защит тока и напряжения в сочетании с устройствами поочередного АПВ.

3.2.102. На одиночных линиях, имеющих питание с двух или более сторон (последнее - на линиях с ответвлениями), как при наличии, так и при отсутствии обходных связей, а также на линиях, входящих в кольцевую сеть с одной точкой питания, рекомендуется применять те же защиты, что и на одиночных линиях с односторонним питанием (см. 3.2.101), выполняя их при необходимости направленными, а дистанционные - с пуском от реле сопротивления. При этом допускается неселективное отключение смежных элементов при КЗ в "мертвой" зоне по

напряжению реле направления мощности, когда токовая отсечка, используемая в качестве дополнительной защиты (см. 3.2.101), не устанавливается, например из-за недостаточной ее чувствительности. Защита устанавливается, как правило, только с тех сторон, откуда может быть подано питание.

3.2.103. На коротких одиночных линиях с двухсторонним питанием, когда это требуется по условию быстроты действия, допускается применение продольной дифференциальной защиты в качестве основной. При этом длина кабеля, прокладываемого специально для этой защиты, не должна превышать 4 км. Для контроля исправности вспомогательных проводов защиты следует предусматривать специальные устройства. В дополнение к продольной дифференциальной защите в качестве резервной должна быть применена одна из защит по 3.2.102.

3.2.104. На параллельных линиях, имеющих питание с двух или более сторон, а также на питающем конце параллельных линий с односторонним питанием могут быть использованы те же защиты, что и на соответствующих одиночных линиях (см. 3.2.101 и 3.2.102).

Для ускорения отключения повреждения, особенно при использовании токовых ступенчатых защит или ступенчатых защит тока и напряжения, на линиях с двусторонним питанием может быть применена дополнительно защита с контролем направления мощности в параллельной линии. Эта защита может быть выполнена в виде отдельной поперечной токовой направленной защиты или только в виде цепи ускорения установленных защит (максимальной токовой, дистанционной) с контролем направления мощности в параллельной линии.

На приемном конце двух параллельных линий с односторонним питанием, как правило, должна быть использована поперечная дифференциальная направленная защита.

3.2.105. Если защита по 3.2.104 не удовлетворяет требованиям быстродействия (см. 3.2.108), а защита с контролем направления мощности в параллельной линии неприменима или нежелательна, в качестве основной защиты (при работе двух параллельных линий) на двух параллельных линиях с двусторонним питанием и на питающем конце двух параллельных линий с односторонним питанием следует применять поперечную дифференциальную направленную защиту.

При этом в режиме работы одной линии, а также в качестве резервной при работе двух линий следует использовать ступенчатую защиту по 3.2.101 и 3.2.102. Допускается включение этой защиты или отдельных ее ступеней на сумму токов обеих линий (например, резервной ступени в целях увеличения ее чувствительности к повреждениям на смежных элементах). Допускается также использование поперечной дифференциальной направленной защиты в дополнение к ступенчатым токовым защитами для уменьшения времени отключения повреждения на защищаемых линиях, если по условию быстроты действия (см. 3.2.108) ее установка не обязательна.

В отдельных случаях на коротких параллельных линиях допускается применение продольной дифференциальной защиты (см. 3.2.103).

## **ЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 110-500 кВ С ЭФФЕКТИВНО ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ**

3.2.106. Для линий в сетях 110-500 кВ с эффективно заземленной нейтралью должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от многофазных замыканий и от замыканий на землю.

3.2.107. Защиты должны быть оборудованы устройствами, блокирующими их действие при качаниях, если в сети возможны качания или асинхронный ход, при которых вероятны излишние срабатывания защиты. Допускается выполнение защиты без блокирующих устройств, если она отстроена от качаний по времени (около 1,5-2 с).

3.2.108. Для линий 330 кВ и выше в качестве основной должна быть предусмотрена защита, действующая без замедления при КЗ в любой точке защищаемого участка.

Для линий напряжением 110-220 кВ вопрос о типе основной защиты, в том числе о необходимости применения защиты, действующей без замедления при КЗ в любой точке защищаемого участка, должен решаться в первую очередь с учетом требования сохранения

устойчивости работы энергосистемы. При этом, если по расчетам устойчивости работы энергосистемы не предъявляются другие, более жесткие требования, может быть принято, что указанное требование, как правило, удовлетворяется, когда трехфазные КЗ, при которых остаточное напряжение на шинах электростанций и подстанций ниже  $0,6-0,7 U_{ном}$ , отключаются

без выдержки времени. Меньшее значение остаточного напряжения ( $0,6 U_{ном}$ ) может быть допущено для линий 110 кВ, менее ответственных линий 220 кВ (в сильно разветвленных сетях, где питание потребителей надежно обеспечивается с нескольких сторон), а также для более ответственных линий 220 кВ в случаях, когда рассматриваемое КЗ не приводит к значительному сбросу нагрузки.

При выборе типа защит, устанавливаемых на линиях 110-220 кВ, кроме требования сохранения устойчивости работы энергосистемы должно быть учтено следующее:

1. На линиях 110 кВ и выше, отходящих от АЭС, а также на всех элементах прилегающей сети, на которых при многофазных КЗ остаточное напряжение прямой последовательности на стороне высшего напряжения блоков АЭС может снижаться более чем до 0,45 номинального, следует обеспечивать резервирование быстродействующих защит с выдержкой времени, не превышающей 1,5 с с учетом действия УРОВ.

2. Повреждения, отключение которых с выдержкой времени может привести к нарушению работы ответственных потребителей, должны отключаться без выдержки времени (например, повреждения, при которых остаточное напряжение на шинах электростанций и подстанций будет ниже  $0,6 U_{ном}$ , если отключение их с выдержкой времени может привести к саморазгрузке вследствие лавины напряжения, или повреждения с остаточным напряжением  $0,6 U_{ном}$  и более, если отключение их с выдержкой времени может привести к нарушению технологии).

3. При необходимости осуществления быстродействующего АПВ на линии должна быть установлена быстродействующая защита, обеспечивающая отключение поврежденной линии без выдержки времени с обеих сторон.

4. При отключении с выдержкой времени повреждений с токами, в несколько раз превосходящими номинальный, возможен недопустимый перегрев проводников.

Допускается применение быстродействующих защит в сложных сетях и при отсутствии изложенных выше условий, если это необходимо для обеспечения селективности.

3.2.109. При оценке обеспечения требований устойчивости, исходя из значений остаточного напряжения по 3.2.108, необходимо руководствоваться следующим:

1. Для одиночной связи между электростанциями или энергосистемами указанное в 3.2.108 остаточное напряжение должно быть проверено на шинах подстанций и электростанций, входящих в данную связь, при КЗ на линиях, отходящих от этих шин, кроме линий, образующих связь; для одиночной связи, содержащей часть участков с параллельными линиями, - также при КЗ на каждой из этих параллельных линии.

2. При наличии нескольких связей между электростанциями или энергосистемами указанное в 3.2.108 значение остаточного напряжения должно быть проверено на шинах только тех подстанций или электростанций, где соединяются эти связи, при КЗ на связях и на других линиях, питающихся от этих шин, а также на линиях, питающихся от шин подстанций связей.

3. Остаточное напряжение должно быть проверено при КЗ в конце зоны, охватываемой первой ступенью защиты в режиме каскадного отключения повреждения, т. е. после отключения выключателя с противоположного конца линии защитой без выдержки времени.

3.2.110. На одиночных линиях с односторонним питанием от многофазных замыканий следует устанавливать ступенчатые токовые защиты или ступенчатые защиты тока и напряжения. Если такие защиты не удовлетворяют требованиям чувствительности или скорости отключения повреждения (см. 3.2.108), например на головных участках, или если это целесообразно по условию согласования защит смежных участков с защитой рассматриваемого участка, должна быть предусмотрена ступенчатая дистанционная защита. В последнем случае в качестве дополнительной защиты рекомендуется использовать токовую отсечку без выдержки времени.

От замыканий на землю должна быть предусмотрена, как правило, ступенчатая токовая направленная или ненаправленная защита нулевой последовательности. Защита должна быть установлена, как правило, только с тех сторон, откуда может быть подано питание.

Для линий, состоящих из нескольких последовательных участков, с целью упрощения допускается использование неселективных ступенчатых защит тока и напряжения (от многофазных замыканий) и ступенчатых токовых защит нулевой последовательности (от замыканий на землю) в сочетании с устройствами поочередного АПВ.

3.2.111. На одиночных линиях, имеющих питание с двух или более сторон (последнее - на линиях с ответвлениями), как при наличии, так и при отсутствии обходных связей, а также на линиях, входящих в кольцевую сеть с одной точкой питания, от многофазных замыканий должна быть применена дистанционная защита (преимущественно трехступенчатая), используемая в качестве резервной или основной (последнее - только на линиях 110-220 кВ).

В качестве дополнительной защиты рекомендуется использовать токовую отсечку без выдержки времени. В отдельных случаях допускается использовать токовую отсечку для действия при ошибочном включении на трехфазную закоротку в месте установки защиты, когда токовая отсечка, выполненная для действия в других режимах, не удовлетворяет требованию чувствительности (см. 3.2.26).

От замыканий на землю должна быть предусмотрена, как правило, ступенчатая токовая направленная или ненаправленная защита нулевой последовательности.

3.2.112. В качестве основной защиты от многофазных замыканий на приемном конце головных участков кольцевой сети с одной точкой питания рекомендуется применять одноступенчатую токовую направленную защиту; на других одиночных линиях (преимущественно 110 кВ) допускается в отдельных случаях применять ступенчатые токовые защиты или ступенчатую защиту тока и напряжения, выполняя их в случае необходимости направленными. Защиту следует устанавливать, как правило, только с тех сторон, откуда может быть подано питание.

3.2.113. На параллельных линиях, имеющих питание с двух или более сторон, а также на питающем конце параллельных линий с односторонним питанием могут быть использованы те же защиты, что и на соответствующих одиночных линиях (см. 3.2.110 и 3.2.111).

Для ускорения отключения замыканий на землю, а в отдельных случаях и замыканий между фазами на линиях с двусторонним питанием может быть применена дополнительная защита с контролем направления мощности в параллельной линии. Эта защита может быть выполнена в виде отдельной поперечной токовой защиты (с включением реле на ток нулевой последовательности или на фазные токи) или только в виде цепи ускорения установленных защит (токовой нулевой последовательности, максимальной токовой, дистанционной и т. п.) с контролем направления мощности в параллельных линиях.

С целью повышения чувствительности защиты нулевой последовательности допускается предусматривать выведение из работы отдельных ее ступеней при отключении выключателя параллельной линии.

На приемном конце двух параллельных линий с односторонним питанием, как правило, должна быть предусмотрена поперечная дифференциальная направленная защита.

3.2.114. Если защита по 3.2.113 не удовлетворяет требованиям быстродействия (см. 3.2.108), в качестве основной защиты (при работе двух параллельных линий) на питающем конце двух параллельных линий 110-220 кВ с односторонним питанием и на двух параллельных линиях 110 кВ с двусторонним питанием преимущественно в распределительных сетях может быть применена поперечная дифференциальная направленная защита.

При этом в режиме работы одной линии, а также в качестве резервной при работе двух линий используется защита по 3.2.110 и 3.2.111. Допускается включение этой защиты или отдельных ее ступеней на сумму токов обеих линий (например, последней ступени токовой защиты нулевой последовательности) с целью повышения ее чувствительности к повреждениям на смежных элементах.

Допускается использование поперечной дифференциальной направленной защиты в дополнение к ступенчатым токовым защитами параллельных линий 110 кВ для уменьшения времени отключения повреждения на защищаемых линиях в случаях, когда по условиям быстродействия (см. 3.2.108) ее использование не является обязательным.

3.2.115. Если защита по 3.2.111-3.2.113 не удовлетворяет требованию быстродействия (см. 3.2.108), в качестве основных защит одиночных и параллельных линий с двусторонним питанием следует предусматривать высокочастотные и продольные дифференциальные защиты.

Для линий 110-220 кВ рекомендуется осуществлять основную защиту с использованием высокочастотной блокировки дистанционной и токовой направленной нулевой последовательности защит, когда это целесообразно по условиям чувствительности (например, на линиях с ответвлениями) или упрощения защиты.

При необходимости прокладки специального кабеля использование продольной дифференциальной защиты должно быть обосновано технико-экономическим расчетом.

Для контроля исправности вспомогательных проводов защиты должны быть предусмотрены специальные устройства.

На линиях 330-350 кВ в дополнение к высокочастотной защите следует предусматривать использование устройства передачи отключающего или разрешающего высокочастотного сигнала (для ускорения действия ступенчатой резервной защиты), если это устройство предусмотрено для других целей. На линиях 500 кВ допускается устанавливать указанное устройство специально для релейной защиты.

Допускается в случаях, когда это требуется по условиям быстродействия (см. 3.2.108) или чувствительности (например, на линиях с ответвлениями), использование передачи отключающего сигнала для ускорения действия ступенчатых защит линий 110-220 кВ.

3.2.116. При выполнении основной защиты по 3.2.115 в качестве резервных следует применять:

от многофазных КЗ, как правило, дистанционные защиты, преимущественно трехступенчатые;

от замыканий на землю ступенчатые токовые направленные или ненаправленные защиты нулевой последовательности.

На случай длительного выведения из действия основной защиты, указанной в 3.2.115, когда эта защита установлена по требованию быстроты отключения повреждения (см. 3.2.108), допускается предусматривать неселективное ускорение резервной защиты от замыканий между фазами (например, с контролем значения напряжения прямой последовательности).

3.2.117. Основные защиты, быстродействующие ступени резервных защит от многофазных замыканий и измерительные органы устройства ОАПВ для линий 330-350 кВ должны быть специального исполнения, обеспечивающего их нормальное функционирование (с заданными параметрами) в условиях интенсивных переходных электромагнитных процессов и значительных емкостных проводимостей линий. Для этого должны быть предусмотрены:

в комплектах защит и измерительных органах ОАПВ - мероприятия ограничивающие влияние переходных электромагнитных процессов (например, низкочастотные фильтры);

в дифференциально-фазной высокочастотной защите, установленной на линиях длиной более 150 км, - устройства компенсации токов, обусловленных емкостной проводимостью линии.

При включении быстродействующих защит на сумму токов двух или более трансформаторов тока в случае невозможности выполнения требований 3.2.29 рекомендуется предусматривать специальные мероприятия для исключения излишнего срабатывания защит при внешних повреждениях (например, загрубление защит) или устанавливать в цепи линии отдельный комплект трансформаторов тока для питания защиты.

В защитах, установленных на линиях 330-500 кВ, оборудованных устройствами продольной емкостной компенсации, должны быть предусмотрены мероприятия для предотвращения излишнего срабатывания защиты при внешних повреждениях, обусловленного влиянием указанных устройств. Например, могут быть использованы реле направления мощности обратной последовательности или передача разрешающего сигнала.

3.2.118. В случае применения ОАПВ устройства релейной защиты должны быть выполнены так, чтобы:



1) при замыканиях на землю одной фазы, а в отдельных случаях и при замыканиях между двумя фазами было обеспечено отключение только одной фазы (с последующим ее автоматическим повторным включением);

2) при неуспешном повторном включении на повреждения, указанные в п. 1, производилось отключение одной или трех фаз в зависимости от того, предусматривается длительный неполнофазный режим работы линии или не предусматривается;

3) при других видах повреждения защита действовала на отключение трех фаз.

## **ЗАЩИТА ШИН, ЗАЩИТА НА ОБХОДНОМ, ШИНОСОЕДИНИТЕЛЬНОМ И СЕКЦИОННОМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯХ**

3.2.119. Для сборных шин 110 кВ и выше электростанций и подстанций отдельные устройства релейной защиты должны быть предусмотрены:

1) для двух систем шин (двойная система шин, полуторная схема и др.) и одиночной секционированной системы шин;

2) для одиночной несекционированной системы шин, если отключение повреждений на шинах действием защит присоединенных элементов недопустимо по условиям, которые аналогичны приведенным в 3.2.108, или если на линиях, питающих рассматриваемые шины, имеются ответвления.

3.2.120. Для сборных шин 35 кВ электростанций и подстанций отдельные устройства релейной защиты должны быть предусмотрены:

по условиям, приведенным в 3.2.108;

для двух систем или секций шин, если при использовании для их разделения защиты, установленной на шиносоединительном (секционном) выключателе, или защит, установленных на элементах, которые питают данные шины, не удовлетворяются требования надежности питания потребителей (с учетом возможностей, обеспечиваемых устройствами АПВ и АВР).

3.2.121. В качестве защиты сборных шин электростанций и подстанций 35 кВ и выше следует предусматривать, как правило, дифференциальную токовую защиту без выдержки времени, охватывающую все элементы, которые присоединены к системе или секции шин. Защита должна осуществляться с применением специальных реле тока, отстроенных от переходных и установившихся токов небаланса (например, реле, включенных через насыщающиеся трансформаторы тока, реле с торможением).

При присоединении трансформатора (автотрансформатора) 330 кВ и выше более чем через один выключатель рекомендуется предусматривать дифференциальную токовую защиту ошиновки.

3.2.122. Для двойной системы шин электростанций и подстанций 35 кВ и выше с одним выключателем на присоединенный элемент дифференциальная защита должна быть предусмотрена в исполнении для фиксированного распределения элементов.

В защите шин 110 кВ и выше следует предусматривать возможность изменения фиксации при переводе присоединения с одной системы шин на другую на рядах зажимов.

3.2.123. Дифференциальная защита, указанная в 3.2.121 и 3.2.122, должна быть выполнена с устройством, контроля исправности вторичных цепей задействованных трансформаторов тока, действующим с выдержкой времени на вывод защиты из работы и на сигнал.

3.2.124. Для секционированных шин 6-10 кВ электростанций должна быть предусмотрена двухступенчатая неполная дифференциальная защита, первая ступень которой выполнена в виде токовой отсечки по току и напряжению или дистанционной защиты, а вторая - в виде максимальной токовой защиты. Защита должна действовать на отключение питающих элементов и трансформатора собственных нужд.

Если при указанном выполнении второй ступени защиты не обеспечивается требуемая чувствительность при КЗ в конце питаемых реактированных линий (нагрузка на шинах генераторного напряжения большая, выключатели питаемых линий установлены за реакторами), следует выполнять ее в виде отдельных комплектов максимальных токовых защит с пуском или без пуска напряжения, устанавливаемых в цепях реакторов; действие этих комплектов на отключение питающих элементов должно контролироваться дополнительным устройством, срабатывающим при возникновении КЗ. При этом на секционном выключателе должна быть предусмотрена защита (предназначенная для ликвидации повреждений между реактором и выключателем), вводимая в действие при отключении этого выключателя. При выделении части питающих элементов на резервную систему шин должна быть предусмотрена неполная дифференциальная защита шин в исполнении для фиксированного распределения элементов.

Если возможны частые режимы работы с разделением питающих элементов на разные системы шин, допускается предусматривать отдельные дистанционные защиты, устанавливаемые на всех питающих элементах, кроме генераторов.

3.2.125. Для секционированных шин 6-10 кВ электростанций с генераторами мощностью 12 МВт и менее допускается не предусматривать специальную защиту; при этом ликвидация КЗ на шинах должна осуществляться действием максимальных токовых защит генераторов.

3.2.126. Специальные устройства релейной защиты для одиночной секционированной и двойной систем шин 6-10 кВ понижающих подстанций, как правило, не следует предусматривать, а ликвидация КЗ на шинах должна осуществляться действием защит трансформаторов от внешних КЗ и защит, установленных на секционном или шиносоединительном выключателе. В целях повышения чувствительности и ускорения действия защиты шин мощных подстанций допускается применять защиту, включенную на сумму токов питающих элементов. При наличии реакторов на линиях, отходящих от шин подстанций, допускается защиту шин выполнять по аналогии с защитой шин электростанций.

3.2.127. При наличии трансформаторов тока, встроенных в выключатели, для дифференциальной защиты шин и для защит присоединений, отходящих от этих шин, должны быть использованы трансформаторы тока, размещенные с разных сторон выключателя, чтобы повреждения в выключателе входили в зоны действия этих защит.

Если выключатели не имеют встроенных трансформаторов тока, то в целях экономии следует предусматривать выносные трансформаторы тока только с одной стороны выключателя и устанавливать их по возможности так, чтобы выключатели входили в зону действия дифференциальной защиты шин. При этом в защите двойной системы шин с фиксированным распределением элементов должно быть предусмотрено использование двух сердечников трансформаторов тока в цепи шиносоединительного выключателя.

При применении отдельных дистанционных защит в качестве защиты шин трансформаторы тока этих защит в цепи секционного выключателя должны быть установлены между секцией шин и реактором.

3.2.128. Защиту шин следует выполнять так, чтобы при опробовании поврежденной системы или секции шин обеспечивалось селективное отключение системы (секции) без выдержки времени.

3.2.129. На обходном выключателе 110 кВ и выше при наличии шиносоединительного (секционного) выключателя должны быть предусмотрены защиты (используемые при проверке и ремонте защиты, выключателя и трансформаторов тока любого из элементов, присоединенных к шинам);

трехступенчатая дистанционная защита и токовая отсечка от многофазных КЗ;

четырёхступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности от замыкания на землю.

При этом на шиносоединительном (секционном) выключателе должны быть предусмотрены защиты (используемые для разделения систем или секций шин при отсутствии УРОВ или выведении его или защиты шин из действия, а также для повышения эффективности дальнего резервирования):

двухступенчатая токовая защита от многофазных КЗ;

трехступенчатая токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю.

Допускается установка более сложных защит на шиносоединительном (секционном) выключателе, если это требуется для повышения эффективности дальнего резервирования.

На шиносоединительном (секционном) выключателе 110 кВ и выше, предназначенном и для выполнения функции обходного выключателя, должны быть предусмотрены те же защиты, что на обходном и шиносоединительном (секционном) выключателях при их раздельном исполнении.

Рекомендуется предусматривать перевод основных быстродействующих защит линий 110 кВ и выше на обходной выключатель.

На шиносоединительном (секционном) выключателе 3-35 кВ должна быть предусмотрена двухступенчатая токовая защита от многофазных КЗ.

3.2.130. Отдельную панель защиты, предназначенную специально для использования вместо выводимой на проверку защиты линии, следует предусматривать при схемах электрических соединений, в которых отсутствует обходной выключатель (например, четырехугольник, полуторная схема и т. п.); такую отдельную панель защиты следует предусматривать для линий 220 кВ, не имеющих отдельной основной защиты; для линий 330-500 кВ.

Допускается предусматривать отдельную панель защиты для линий 110 кВ, не имеющих отдельной основной защиты, при схемах электрических соединений "мостик" с выключателями в цепях линий и "многоугольник", если при проверке защиты линии ликвидировать повреждения на ней в соответствии с предъявляемыми требованиями более простыми средствами технически невозможно.

## **ЗАЩИТА СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ**

3.2.131. Устройства релейной защиты синхронных компенсаторов следует выполнять аналогично предусматриваемым для турбогенераторов соответствующих мощностей со следующими отличиями:

1. Защита от токов, обусловленных симметричной перегрузкой, действующая на сигнал, должна выводиться на период пуска, если в этом режиме возможно ее действие.

2. Следует предусматривать минимальную защиту напряжения, действующую на отключение выключателя синхронного компенсатора. Напряжение срабатывания защиты должно быть принято равным  $0,1-0,2 U_{ном}$ , выдержка времени - около 10 с.

3. Должна быть предусмотрена защита, действующая при кратковременном исчезновении питания подстанции (например, в бестоковую паузу АПВ питающей линии). Защита должна выполняться в виде минимальной защиты частоты и действовать на отключение выключателя синхронного компенсатора или на АГП. Допускается использование защиты, выполненной на других принципах, например реагирующей на скорость снижения частоты.

4. На синхронных компенсаторах мощностью 50 Мвар и более следует предусматривать защиту от потери возбуждения (снижения тока возбуждения ниже допустимого предела) с действием на отключение синхронного компенсатора или на сигнал. Для синхронных компенсаторов, на которых предусматривается возможность перевода на режим работы с отрицательным током ротора, эту защиту допускается не применять.

5. Для синхронного компенсатора, работающего в блоке с трансформатором, при замыкании на землю в обмотке статора должно быть предусмотрено действие защиты, установленной на стороне низшего напряжения трансформатора.

Если ток замыкания на землю на стороне низшего напряжения трансформатора превышает 5 А, допускается не устанавливать дугогасящий реактор и выполнять защиту с двумя выдержками времени; с меньшей выдержкой времени предусматривается отключение выключателя синхронного компенсатора, а с большей - подача сигнала.

При токе замыкания на землю до 5 А защита должна быть выполнена с одной выдержкой времени и с действием на сигнал. Для синхронных компенсаторов мощностью 50 Мвар и более должна быть предусмотрена возможность действия защиты на сигнал или на отключение.

3.2.132. На подстанциях без постоянного дежурства персонала защита от перегрузки синхронного компенсатора должна выполняться с независимой выдержкой времени и действовать с меньшей выдержкой времени на сигнал и снижение тока возбуждения, а с большей - на отключение синхронного компенсатора (если предотвращение длительных перегрузок не обеспечивается устройствами автоматического регулирования возбуждения).

3.2.133. Защиту от замыканий на землю в цепи возбуждения синхронного компенсатора следует выполнять так же, как для гидрогенераторов (см. 3.2.85).

## **Глава 3.3**

### **АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА**

#### **ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

3.3.1. Настоящая глава Правил распространяется на автоматические и телемеханические устройства электростанций, энергосистем, сетей и электроснабжения промышленных и других электроустановок, предназначенные для осуществления:

- 1) АПВ линий или фаз линий, шин и прочих электроустановок после их автоматического отключения;
- 2) АВР резервного питания или оборудования;
- 3) включения синхронных генераторов и синхронных компенсаторов на параллельную работу;
- 4) регулирования возбуждения, напряжения и реактивной мощности;
- 5) регулирования частоты и активной мощности;
- 6) предотвращения нарушений устойчивости;
- 7) прекращения асинхронного режима;
- 8) ограничения снижения частоты;
- 9) ограничения повышения частоты;
- 10) ограничения снижения напряжения;
- 11) ограничения повышения напряжения;
- 12) предотвращения перегрузки оборудования;
- 13) диспетчерского контроля и управления.

Функции устройств по п. 4-11 определяются полностью или частично условиями работы энергосистемы в целом. Эти устройства должны проектироваться и эксплуатироваться соответствующими энергетическими предприятиями, энергообъединениями или по согласованию с ними.

В энергосистемах и на энергообъектах могут устанавливаться устройства автоматического управления, не охватываемые настоящей главой Правил и регламентируемые другими документами. Действия этих устройств должны быть согласованы между собой, а также с действием устройств и систем, рассматриваемых в данной главе.

В электрических сетях предприятий-потребителей электроэнергии следует применять такие устройства автоматики, которые по возможности не допускают нарушений наиболее ответственных технологических процессов при кратковременных перерывах электроснабжения, обусловленных действием защит и автоматики в сети внешнего и внутреннего электроснабжения (см. также 5.3.52, 5.3.53 и 5.3.58).

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ (АПВ)**

3.3.2. Устройства АПВ должны предусматриваться для быстрого восстановления питания потребителей или межсистемных и внутрисистемных связей путем автоматического включения выключателей, отключенных устройствами релейной защиты.

Должно предусматриваться автоматическое повторное включение:

1) воздушных и смешанных (кабельно-воздушных) линий всех типов напряжением выше 1 кВ. Отказ от применения АПВ должен быть в каждом отдельном случае обоснован. На кабельных линиях 35 кВ и ниже АПВ рекомендуется применять в случаях, когда оно может быть эффективным в связи со значительной вероятностью повреждений с образованием открытой дуги (например, наличие нескольких промежуточных сборок, питание по одной линии нескольких подстанций), а также с целью исправления неселективного действия защиты. Вопрос о применении АПВ на кабельных линиях 110 кВ и выше должен решаться при проектировании в каждом отдельном случае с учетом конкретных условий;

2) шин электростанций и подстанций (см. 3.3.24 и 3.3.25);

3) трансформаторов (см. 3.3.26);

4) ответственных электродвигателей, отключаемых для обеспечения самозапуска других электродвигателей (см. 3.3.38).

Для осуществления АПВ по п. 1-3 должны также предусматриваться устройства АПВ на обходных, шиносоединительных и секционных выключателях.

Допускается в целях экономии аппаратуры выполнение устройства группового АПВ на линиях, в первую очередь кабельных, и других присоединениях 6-10 кВ. При этом следует учитывать недостатки устройства группового АПВ, например возможность отказа в случае, если после отключения выключателя одного из присоединений отключение выключателя другого присоединения происходит до возврата устройства АПВ в исходное положение.

3.3.3. Устройства АПВ должны быть выполнены так, чтобы они не действовали при:

1) отключении выключателя персоналом дистанционно или при помощи телеуправления;

2) автоматическом отключении от релейной защиты непосредственно после включения персоналом дистанционно или при помощи телеуправления;

3) отключении выключателя защитой от внутренних повреждений трансформаторов и вращающихся машин, устройствами противоаварийной автоматики, а также в других случаях отключений выключателя, когда действие АПВ недопустимо. АПВ после действия АЧР (ЧАПВ) должно выполняться в соответствии с 3.3.81.

Устройства АПВ должны быть выполнены так, чтобы была исключена возможность многократного включения на КЗ при любой неисправности в схеме устройства.

Устройства АПВ должны выполняться с автоматическим возвратом.

3.3.4. При применении АПВ должно, как правило, предусматриваться ускорение действия релейной защиты на случай неуспешного АПВ. Ускорение действия релейной защиты после неуспешного АПВ выполняется с помощью устройства ускорения после включения выключателя, которое, как правило, должно использоваться и при включении выключателя по другим причинам (от ключа управления, телеуправления или устройства АВР). При ускорении защиты после включения выключателя должны быть приняты меры против возможного отключения

выключателя защитой под действием толчка тока при включении из-за одновременного включения фаз выключателя.

Не следует ускорять защиты после включения выключателя, когда линия уже включена под напряжением другим своим выключателем (т. е. при наличии симметричного напряжения на линии).

Допускается не ускорять после АПВ действие защит линий 35 кВ и ниже, выполненных на переменном оперативном токе, если для этого требуется значительное усложнение защит и время их действия при металлическом КЗ вблизи места установки не превосходит 1,5 с.

3.3.5. Устройства трехфазного АПВ (ТАПВ) должны осуществляться преимущественно с пуском при несоответствии между ранее поданной оперативной командой и отключенным положением выключателя; допускается также пуск устройства АПВ от защиты.

3.3.6. Могут применяться, как правило, устройства ТАПВ однократного или двукратного действия (последнее - если это допустимо по условиям работы выключателя). Устройство ТАПВ двукратного действия рекомендуется принимать для воздушных линий, в особенности для одиночных с односторонним питанием. В сетях 35 кВ и ниже устройства ТАПВ двукратного действия рекомендуется применять в первую очередь для линий, не имеющих резервирования по сети.

В сетях с изолированной или компенсированной нейтралью, как правило, должна применяться блокировка второго цикла АПВ в случае замыкания на землю после АПВ первого цикла (например, по наличию напряжений нулевой последовательности). Выдержка времени ТАПВ во втором цикле должна быть не менее 15-20 с.

3.3.7. Для ускорения восстановления нормального режима работы электропередачи выдержка времени устройства ТАПВ (в особенности для первого цикла АПВ двукратного действия на линиях с односторонним питанием) должна приниматься минимально возможной с учетом времени погасания дуги и деионизации среды в месте повреждения, а также с учетом времени готовности выключателя и его привода к повторному включению.

Выдержка времени устройства ТАПВ на линии с двусторонним питанием должна выбираться также с учетом возможного одновременного отключения повреждения с обоих концов линии; при этом время действия защит, предназначенных для дальнего резервирования, учитываться не должно. Допускается не учитывать разновременности отключения выключателей по концам линии, когда они отключаются в результате срабатывания высокочастотной защиты.

С целью повышения эффективности ТАПВ однократного действия допускается увеличивать его выдержку времени (по возможности с учетом работы потребителя).

3.3.8. На одиночных линиях 110 кВ и выше с односторонним питанием, для которых допустим в случае неуспешного ТАПВ переход на длительную работу двумя фазами, следует предусматривать ТАПВ двукратного действия на питающем конце линии. Перевод линии на работу двумя фазами может производиться персоналом на месте или при помощи телеуправления.

Для перевода линии после неуспешного АПВ на работу двумя фазами следует предусматривать пофазное управление разъединителями или выключателями на питающем и приемном концах линии.

При переводе линии на длительную работу двумя фазами следует при необходимости принимать меры к уменьшению помех в работе линий связи из-за неполнофазного режима работы линии. С этой целью допускается ограничение мощности, передаваемой по линии в неполнофазном режиме (если это возможно по условиям работы потребителя).

В отдельных случаях при наличии специального обоснования допускается также перерыв в работе линии связи на время неполнофазного режима.

3.3.9. На линиях, отключение которых не приводит к нарушению электрической связи между генерирующими источниками, например на параллельных линиях с односторонним питанием, следует устанавливать устройства ТАПВ без проверки синхронизма.

3.3.10. На одиночных линиях с двусторонним питанием (при отсутствии шунтирующих связей) должен предусматриваться один из следующих видов трехфазного АПВ (или их комбинаций):

- а) быстродействующее ТАПВ (БАПВ)
- б) несинхронное ТАПВ (НАПВ);
- в) ТАПВ с улавливанием синхронизма (ТАПВ УС).

Кроме того, может предусматриваться однофазное АПВ (ОАПВ) в сочетании с различными видами ТАПВ, если выключатели оборудованы пофазным управлением и не нарушается устойчивость параллельной работы частей энергосистемы в цикле ОАПВ.

Выбор видов АПВ производится, исходя из совокупности конкретных условий работы системы и оборудования с учетом указаний 3.3.11-3.3.15.

3.3.11. Быстродействующее АПВ, или БАПВ (одновременное включение с минимальной выдержкой времени с обоих концов), рекомендуется предусматривать на линиях по 3.3.10 для автоматического повторного включения, как правило, при небольшом расхождении угла между векторами ЭДС соединяемых систем. БАПВ может применяться при наличии выключателей, допускающих БАПВ, если после включения обеспечивается сохранение синхронной параллельной работы систем и максимальный электромагнитный момент синхронных генераторов и компенсаторов меньше (с учетом необходимого запаса) электромагнитного момента, возникающего при трехфазном КЗ на выводах машины.

Оценка максимального электромагнитного момента должна производиться для предельно возможного расхождения угла за время БАПВ. Соответственно запуск БАПВ должен производиться лишь при срабатывании быстродействующей защиты, зона действия которой охватывает всю линию. БАПВ должно блокироваться при срабатывании резервных защит и блокироваться или задерживаться при работе УРОВ.

Если для сохранения устойчивости энергосистемы при неуспешном БАПВ требуется большой объем воздействий от противоаварийной автоматики, применение БАПВ не рекомендуется.

3.3.12. Несинхронное АПВ (НАПВ) может применяться на линиях по 3.3.10 (в основном 110-220 кВ), если:

а) максимальный электромагнитный момент синхронных генераторов и компенсаторов, возникающий при несинхронном включении, меньше (с учетом необходимого запаса) электромагнитного момента, возникающего при трехфазном КЗ на выводах машины, при этом в качестве практических критериев оценки допустимости НАПВ принимаются расчетные начальные значения периодических составляющих токов статора при угле включения  $180^\circ$ ;

б) максимальный ток через трансформатор (автотрансформатор) при угле включения  $180^\circ$  меньше тока КЗ на его выводах при питании от шин бесконечной мощности;

в) после АПВ обеспечивается достаточно быстрая ресинхронизация; если в результате несинхронного автоматического повторного включения возможно возникновение длительного асинхронного хода, должны применяться специальные мероприятия для его предотвращения или прекращения.

При соблюдении этих условий НАПВ допускается применять также в режиме ремонта на параллельных линиях.

При выполнении НАПВ необходимо принять меры по предотвращению излишнего срабатывания защиты. С этой целью рекомендуется, в частности, осуществлять включение выключателей при НАПВ в определенной последовательности, например выполнением АПВ с одной из сторон линии с контролем наличия напряжения на ней после успешного ТАПВ с противоположной стороны.

3.3.13. АПВ с улавливанием синхронизма может применяться на линиях по 3.3.10 для включения линии при значительных (примерно до 4%) скольжениях и допустимом угле.

Возможно также следующее выполнение АПВ. На конце линии, который должен включаться первым, производится ускоренное ТАПВ (с фиксацией срабатывания быстродействующей защиты, зона действия которой охватывает всю линию) без контроля напряжения на линии (УТАПВ БК) или ТАПВ с контролем отсутствия напряжения на линии (ТАПВ ОН), а на другом ее конце - ТАПВ с улавливанием синхронизма. Последнее производится при условии, что включение первого конца было успешным (это может быть определено, например, при помощи контроля наличия напряжения на линии).

Для улавливания синхронизма могут применяться устройства, построенные по принципу синхронизатора с постоянным углом опережения.

Устройства АПВ следует выполнять так, чтобы имелась возможность изменять очередность включения выключателей по концам линии.

При выполнении устройства АПВ УС необходимо стремиться к обеспечению его действия при возможно большей разности частот. Максимальный допустимый угол включения при применении АПВ УС должен приниматься с учетом условий, указанных в 3.3.12. При применении устройства АПВ УС рекомендуется его использование для включения линии персоналом (полуавтоматическая синхронизация).

3.3.14. На линиях, оборудованных трансформаторами напряжения, для контроля отсутствия напряжения (КОН) и контроля наличия напряжения (КНН) на линии при различных видах ТАПВ рекомендуется использовать органы, реагирующие на линейное (фазное) напряжение и на напряжения обратной и нулевой последовательностей. В некоторых случаях, например на линиях без шунтирующих реакторов, можно не использовать напряжение нулевой последовательности.

3.3.15. Однофазное автоматическое повторное включение (ОАПВ) может применяться только в сетях с большим током замыкания на землю. ОАПВ без автоматического перевода линии на длительный неполнофазный режим при устойчивом повреждении фазы следует применять:

а) на одиночных сильно нагруженных межсистемных или внутрисистемных линиях электропередачи;

б) на сильно нагруженных межсистемных линиях 220 кВ и выше с двумя и более обходными связями при условии, что отключение одной из них может привести к нарушению динамической устойчивости энергосистемы;

в) на межсистемных и внутрисистемных линиях разных классов напряжения, если трехфазное отключение линии высшего напряжения может привести к недопустимой перегрузке линий низшего напряжения с возможностью нарушения устойчивости энергосистемы;

г) на линиях, связывающих с системой крупные блочные электростанции без значительной местной нагрузки;

д) на линиях электропередачи, где осуществление ТАПВ сопряжено со значительным сбросом нагрузки вследствие понижения напряжения.

Устройство ОАПВ должно выполняться так, чтобы при выводе его из работы или исчезновении питания автоматически осуществлялся перевод действия защит линии на отключение трех фаз помимо устройства.

Выбор поврежденных фаз при КЗ на землю должен осуществляться при помощи избирательных органов, которые могут быть также использованы в качестве дополнительной быстродействующей защиты линии в цикле ОАПВ, при ТАПВ, БАПВ и одностороннем включении линии оперативным персоналом.

Выдержка временем ОАПВ должна отстраиваться от времени погасания дуги и деионизации среды в месте однофазного КЗ в неполнофазном режиме с учетом возможности неодновременного срабатывания защиты по концам линии, а также каскадного действия избирательных органов.

3.3.16. На линиях по 3.3.15 ОАПВ должно применяться в сочетании с различными видами ТАПВ. При этом должна быть предусмотрена возможность запрета ТАПВ во всех случаях ОАПВ или только при неуспешном ОАПВ. В зависимости от конкретных условий допускается осуществление ТАПВ после неуспешного ОАПВ. В этих случаях предусматривается действие ТАПВ сначала на одном конце линии с контролем отсутствия напряжения на линии и с увеличенной выдержкой времени.

3.3.17. На одиночных линиях с двусторонним питанием, связывающих систему с электростанцией небольшой мощности, могут применяться ТАПВ с автоматической самосинхронизацией (АПВС) гидрогенераторов для гидроэлектростанций и ТАПВ в сочетании с делительными устройствами - для гидро- и теплоэлектростанций.



3.3.18. На линиях с двусторонним питанием при наличии нескольких обходных связей следует применять:

1) при наличии двух связей, а также при наличии трех связей, если вероятно одновременное длительное отключение двух из этих связей (например, двухцепной линии):

несинхронное АПВ (в основном для линий 110-220 кВ и при соблюдении условий, указанных в 3.3.12, но для случая отключения всех связей);

АПВ с проверкой синхронизма (при невозможности выполнения несинхронного АПВ по причинам, указанным в 3.3.12, но для случая отключения всех связей).

Для ответственных линий при наличии двух связей, а также при наличии трех связей, две из которых - двухцепная линия, при невозможности применения НАПВ по причинам, указанным в 3.3.12, разрешается применять устройства ОАПВ, БАПВ или АПВ УС (см. 3.3.11, 3.3.13, 3.3.15). При этом устройства ОАПВ и БАПВ следует дополнять устройством АПВ с проверкой синхронизма;

2) при наличии четырех и более связей, а также при наличии трех связей, если в последнем случае одновременное длительное отключение двух из этих связей маловероятно (например, если все линии одноцепные), - АПВ без проверки синхронизма.

3.3.19. Устройства АПВ с проверкой синхронизма следует выполнять на одном конце линии с контролем отсутствия напряжения на линии и с контролем наличия синхронизма, на другом конце - только с контролем наличия синхронизма. Схемы устройства АПВ с проверкой синхронизма линии должны выполняться одинаковыми на обоих концах с учетом возможности изменения очередности включения выключателей линии при АПВ.

Рекомендуется использовать устройство АПВ с проверкой синхронизма для проверки синхронизма соединяемых систем при включении линии персоналом.

3.3.20. Допускается совместное применение нескольких видов трехфазного АПВ на линии, например БАПВ и ТАПВ с проверкой синхронизма. Допускается также использовать различные виды устройств АПВ на разных концах линии, например УТАПВ БК (см. 3.3.13) на одном конце линии и ТАПВ с контролем наличия напряжения и синхронизма на другом.

3.3.21. Допускается сочетание ТАПВ с неселективными быстродействующими защитами для исправления неселективного действия последних. В сетях, состоящих из ряда последовательно включенных линий, при применении для них неселективных быстродействующих защит для исправления их действия рекомендуется применять поочередное АПВ; могут также применяться устройства АПВ с ускорением защиты до АПВ или с кратностью действия (не более трех), возрастающей по направлению к источнику питания.

3.3.22. При применении трехфазного однократного АПВ линий, питающих трансформаторы, со стороны высшего напряжения которых устанавливаются короткозамыкатели и отделители, для отключения отделителя в бестоковую паузу время действия устройства АПВ должно быть отстроено от суммарного времени включения короткозамыкателя и отключения отделителя. При применении трехфазного АПВ двукратного действия (см. 3.3.6) время действия АПВ в первом цикле по указанному условию не должно увеличиваться, если отключение отделителя предусматривается в бестоковую паузу второго цикла АПВ.

Для линий, на которые вместо выключателей устанавливаются отделители, отключение отделителей в случае неуспешного АПВ в первом цикле должно производиться в бестоковую паузу второго цикла АПВ.

3.3.23. Если в результате действия АПВ возможно несинхронное включение синхронных компенсаторов или синхронных электродвигателей и если такое включение для них недопустимо, а также для исключения подпитки от этих машин места повреждения следует предусматривать автоматическое отключение этих синхронных машин при исчезновении питания или переводить их в асинхронный режим отключением АГП с последующим автоматическим включением или ресинхронизацией после восстановления напряжения в результате успешного АПВ.

Для подстанций с синхронными компенсаторами или синхронными электродвигателями должны применяться меры, предотвращающие излишние срабатывания АЧР при действии АПВ.

3.3.24. АПВ шин электростанций и подстанций при наличии специальной защиты шин и выключателей, допускающих АПВ, должно выполняться по одному из двух вариантов:

1) автоматическим опробованием (постановка шин под напряжение выключателем от АПВ одного из питающих элементов);

2) автоматической сборкой схемы; при этом первым от устройства АПВ включается один из питающих элементов (например, линия, трансформатор), при успешном включении этого элемента производится последующее, возможно более полное автоматическое восстановление схемы доаварийного режима путем включения других элементов. АПВ шин по этому варианту рекомендуется применять в первую очередь для подстанций без постоянного дежурства персонала.

При выполнении АПВ шин должны применяться меры, исключающие несинхронное включение (если оно является недопустимым).

Должна обеспечиваться достаточная чувствительность защиты шин на случай неуспешного АПВ.

3.3.25. На двухтрансформаторных понижающих подстанциях при раздельной работе трансформаторов, как правило, должны предусматриваться устройства АПВ шин среднего и низшего напряжений в сочетании с устройствами АВР; при внутренних повреждениях трансформаторов должно действовать АВР, при прочих повреждениях - АПВ (см. 3.3.42).

Допускается для двухтрансформаторной подстанции, в нормальном режиме которой предусматривается параллельная работа трансформаторов на шинах данного напряжения, устанавливать дополнительно к устройству АПВ устройство АВР, предназначенное для режима, когда один из трансформаторов выведен в резерв.

3.3.26. Устройствами АПВ должны быть оборудованы все одиночные понижающие трансформаторы мощностью более 1 МВ·А на подстанциях энергосистем, имеющие выключатель и максимальную токовую защиту с питающей стороны, когда отключение трансформатора приводит к обесточению электроустановок потребителей. Допускается в отдельных случаях действие АПВ и при отключении трансформатора защитой от внутренних повреждений.

3.3.27. При неуспешном АПВ включаемого первым выключателем элемента, присоединенного двумя или более выключателями, АПВ остальных выключателей этого элемента, как правило, должно запрещаться.

3.3.28. При наличии на подстанции или электростанции выключателей с электромагнитным приводом, если от устройства АПВ могут быть одновременно включены два или более выключателей, для обеспечения необходимого уровня напряжения аккумуляторной батареи при включении и для снижения сечения кабелей цепей питания электромагнитов включения следует, как правило, выполнять АПВ так, чтобы одновременное включение нескольких выключателей было исключено (например, применением на присоединениях АПВ с различными выдержками времени).

Допускается в отдельных случаях (преимущественно при напряжении 110 кВ и большом числе присоединений, оборудованных АПВ) одновременное включение от АПВ двух выключателей.

3.3.29. Действие устройств АПВ должно фиксироваться указательными реле, встроенными в реле указателями срабатывания, счетчиками числа срабатываний или другими устройствами аналогичного назначения.

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЯ (АВР)**

3.3.30. Устройства АВР должны предусматриваться для восстановления питания потребителей путем автоматического присоединения резервного источника питания при отключении рабочего источника питания, приводящем к обесточению электроустановок потребителя. Устройства АВР должны предусматриваться также для автоматического включения резервного оборудования при отключении рабочего оборудования, приводящем к нарушению нормального технологического процесса.

Устройства АВР также рекомендуется предусматривать, если при их применении возможно упрощение релейной защиты, снижение токов КЗ и удешевление аппаратуры за счет замены кольцевых сетей радиально-секционированными и т. п.

Устройства АВР могут устанавливаться на трансформаторах, линиях, секционных и шиносоединительных выключателях, электродвигателях и т. п.

3.3.31. Устройство АВР, как правило, должно обеспечивать возможность его действия при исчезновении напряжения на шинах питаемого элемента, вызванном любой причиной, в том числе КЗ на этих шинах (последнее - при отсутствии АПВ шин, см. также 3.3.42).

3.3.32. Устройство АВР при отключении выключателя рабочего источника питания должно включать, как правило, без дополнительной выдержки времени, выключатель резервного источника питания (см. также 3.3.41). При этом должна быть обеспечена однократность действия устройства.

3.3.33. Для обеспечения действия АВР при обесточении питаемого элемента в связи с исчезновением напряжения со стороны питания рабочего источника, а также при отключении выключателя с приемной стороны (например, для случаев, когда релейная защита рабочего элемента действует только на отключение выключателей со стороны питания) в схеме АВР в дополнение к указанному в 3.3.32 должен предусматриваться пусковой орган напряжения. Указанный пусковой орган при исчезновении напряжения на питаемом элементе и при наличии напряжения со стороны питания резервного источника должен действовать с выдержкой времени на отключение выключателя рабочего источника питания с приемной стороны. Пусковой орган напряжения АВР не должен предусматриваться, если рабочий и резервный элементы имеют один источник питания.

3.3.34. Для трансформаторов и линий малой протяженности с целью ускорения действия АВР целесообразно выполнять релейную защиту с действием на отключение не только выключателя со стороны питания, но и выключателя с приемной стороны. С этой же целью в наиболее ответственных случаях (например, на собственных нуждах электростанций) при отключении по каким-либо причинам выключателя только со стороны питания должно быть обеспечено немедленное отключение выключателя с приемной стороны по цепи блокировки.

3.3.35. Минимальный элемент напряжения пускового органа АВР, реагирующий на исчезновение напряжения рабочего источника, должен быть отстроен от режима самозапуска электродвигателей и от снижения напряжения при удаленных КЗ. Напряжение срабатывания элемента контроля напряжения на шинах резервного источника пускового органа АВР должно выбираться по возможности, исходя из условия самозапуска электродвигателей. Время действия пускового органа АВР должно быть больше времени отключения внешних КЗ, при которых снижение напряжения вызывает срабатывание элемента минимального напряжения пускового органа, и, как правило, больше времени действия АПВ со стороны питания.

Минимальный элемент напряжения пускового органа АВР, как правило, должен быть выполнен так, чтобы исключалась его ложная работа при перегорании одного из предохранителей трансформатора напряжения со стороны обмотки высшего или низшего напряжения; при защите обмотки низшего напряжения автоматическим выключателем при его отключении действие пускового органа должно блокироваться. Допускается не учитывать данное требование при выполнении устройств АВР в распределительных сетях 6-10 кВ, если для этого требуется специальная установка трансформатора напряжения.

3.3.36. Если при использовании пуска АВР по напряжению время его действия может оказаться недопустимо большим (например, при наличии в составе нагрузки значительной доли синхронных электродвигателей), рекомендуется применять в дополнение к пусковому органу напряжения пусковые органы других типов (например, реагирующие на исчезновение тока, снижение частоты, изменение направления мощности и т. п.).

В случае применения пускового органа частоты последний при снижении частоты со стороны рабочего источника питания до заданного значения и при нормальной частоте со стороны резервного питания должен действовать с выдержкой времени на отключение выключателя рабочего источника питания.

При технологической необходимости может выполняться пуск устройства автоматического включения резервного оборудования от различных специальных датчиков (давления, уровня и т. п.).

3.3.37. Схема устройства АВР источников питания собственных нужд электростанций после включения резервного источника питания взамен одного из отключающихся рабочих источников должна сохранять возможность действия при отключении других рабочих источников питания.

3.3.38. При выполнении устройств АВР следует проверять условия перегрузки резервного источника питания и самозапуска электродвигателей и, если имеет место чрезмерная перегрузка или не обеспечивается самозапуск, выполнять разгрузку при действии АВР (например, отключение неответственных, а в некоторых случаях и части ответственных электродвигателей; для последних рекомендуется применение АПВ).

3.3.39. При выполнении АВР должна учитываться недопустимость его действия на включение потребителей, отключенных устройствами АЧР. С этой целью должны применяться специальные мероприятия (например, блокировка по частоте); в отдельных случаях при специальном обосновании невозможности выполнения указанных мероприятий допускается не предусматривать АВР.

3.3.40. При действии устройства АВР, когда возможно включение выключателя на КЗ, как правило, должно предусматриваться ускорение действия защиты этого выключателя (см. также 3.3.4). При этом должны быть приняты меры для предотвращения отключений резервного питания по цепи ускорения защиты за счет бросков тока включения.

С этой целью на выключателях источников резервного питания собственных нужд электростанций ускорение защиты должно предусматриваться только в случае, если ее выдержка времени превышает 1-1,2 с; при этом в цепь ускорения должна быть введена выдержка времени около 0,5 с. Для прочих электроустановок значения выдержек времени принимаются, исходя из конкретных условий.

3.3.41. В случаях, если в результате действия АВР возможно несинхронное включение синхронных компенсаторов или синхронных электродвигателей и если оно для них недопустимо, а также для исключения подпитки от этих машин места повреждения следует при исчезновении питания автоматически отключать синхронные машины или переводить их в асинхронный режим отключением АГП с последующим автоматическим включением или ресинхронизацией после восстановления напряжения в результате успешного АВР.

Для предотвращения включения резервного источника от АВР до отключения синхронных машин допускается применять замедление АВР. Если последнее недопустимо для остальной нагрузки, допускается при специальном обосновании отключать от пускового органа АВР линию, связывающую шины рабочего питания с нагрузкой, содержащей синхронные электродвигатели.

Для подстанций с синхронными компенсаторами или синхронными электродвигателями должны применяться меры, предотвращающие неправильную работу АЧР при действии АВР (см. 3.3.79).

3.3.42. С целью предотвращения включения резервного источника питания на КЗ при невяном резерве, предотвращения его перегрузки, облегчения самозапуска, а также восстановления наиболее простыми средствами нормальной схемы электроустановки после аварийного отключения и действия устройства автоматики рекомендуется применять сочетание устройств АВР и АПВ. Устройства АВР должны действовать при внутренних повреждениях рабочего источника, АПВ - при прочих повреждениях.

После успешного действия устройств АПВ или АВР должно, как правило, обеспечиваться возможно более полное автоматическое восстановление схемы доаварийного режима (например, для подстанций с упрощенными схемами электрических соединений со стороны высшего напряжения - отключение включенного при действии АВР секционного выключателя на стороне низшего напряжения после успешного АПВ питающей линии).

## **ВКЛЮЧЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ**

3.3.43. Включение генераторов на параллельную работу должно производиться одним из следующих способов: точной синхронизацией (ручной, полуавтоматической и автоматической) и самосинхронизацией (ручной, полуавтоматической и автоматической).

3.3.44. Способ точной автоматической или полуавтоматической синхронизации как основной способ включения на параллельную работу при нормальных режимах должен предусматриваться для:

турбогенераторов с косвенным охлаждением обмоток мощностью более 3 МВт, работающих непосредственно на сборные шины генераторного напряжения, и при значении периодической составляющей переходного тока более 3,5 Iном;

турбогенераторов с непосредственным охлаждением обмоток типов ТВВ, ТВФ, ТГВ и ТВМ;

гидрогенераторов мощностью 50 МВт и более.

При аварийных режимах в электрической системе включение на параллельную работу всех генераторов вне зависимости от системы охлаждения и мощности может производиться способом самосинхронизации.

3.3.45. Способ самосинхронизации как основной способ включения на параллельную работу может предусматриваться для:

турбогенераторов мощностью до 3 МВт:

турбогенераторов с косвенным охлаждением мощностью более 3 МВт, работающих непосредственно на сборные шины, если периодическая составляющая переходного тока при включении в сеть способом самосинхронизации не превосходит 3,5 Iном;

турбогенераторов с косвенным охлаждением, работающих в блоке с трансформаторами;

гидрогенераторов мощностью до 50 МВт;

гидрогенераторов, электрически жестко связанных между собой и работающих через общий выключатель при их суммарной мощности до 50 МВт.

В указанных случаях могут не предусматриваться устройства полуавтоматической и автоматической точной синхронизации.

3.3.46. При использовании способа самосинхронизации как основного способа включения генераторов на параллельную работу следует предусматривать установку на гидрогенераторах устройств автоматической самосинхронизации, на турбогенераторах - устройств ручной или полуавтоматической самосинхронизации.

3.3.47. При использовании способа точной синхронизации в качестве основного способа включения генераторов на параллельную работу, как правило, следует предусматривать установку устройств автоматической и полуавтоматической точной синхронизации. Для генераторов мощностью до 15 МВт допускается применение ручной точной синхронизации с блокировкой от несинхронного включения.

3.3.48. В соответствии с указанными положениями все генераторы должны быть оборудованы соответствующими устройствами синхронизации, расположенными на центральном пункте управления или на местном пункте управления для гидроэлектростанций, на главном щите управления или на блочных щитах управления для теплоэлектростанций.

Вне зависимости от применяемого способа синхронизации все генераторы должны быть оборудованы устройствами, позволяющими в необходимых случаях производить ручную точную синхронизацию с блокировкой от несинхронного включения.

3.3.49. При включении в сеть способом точной синхронизации двух или более гидрогенераторов, работающих через один выключатель, генераторы предварительно синхронизируются между собой способом самосинхронизации и с сетью - способом точной синхронизации.

3.3.50. На транзитных подстанциях основной сети и электростанциях, где требуется синхронизация отдельных частей электрической системы, должны предусматриваться устройства для полуавтоматической или ручной точной синхронизации.

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ, НАПРЯЖЕНИЯ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ**

3.3.51. Устройства автоматического регулирования возбуждения, напряжения и реактивной мощности предназначены для:

поддержания напряжения в электрической системе и у электроприемников по заданным характеристикам при нормальной работе электроэнергетической системы;

распределения реактивной нагрузки между источниками реактивной мощности по заданному закону;

повышения статической и динамической устойчивости электрических систем и демпфирования колебаний в переходных режимах.

3.3.52. Синхронные машины (генераторы, компенсаторы, электродвигатели) должны быть оборудованы устройствами АРВ. Автоматические регуляторы возбуждения должны соответствовать требованиям ГОСТ на системы возбуждения и техническим условиям на оборудование систем возбуждения.

Для генераторов и синхронных компенсаторов мощностью менее 2,5 МВт, за исключением генераторов электростанций, работающих изолированно или в энергосистеме небольшой мощности, допускается применять только устройства релейной форсировки возбуждения. Синхронные электродвигатели должны быть оборудованы устройствами АРВ в соответствии с 5.3.12 и 5.3.13.

3.3.53. Должна быть обеспечена высокая надежность питания АРВ и других устройств системы возбуждения от трансформаторов напряжения, а также высокая надежность соответствующих цепей.

При подключении АРВ к трансформатору напряжения, имеющему предохранители на первичной стороне:

АРВ и другие устройства системы возбуждения, потеря питания которых может привести к перегрузке или недопустимому снижению возбуждения машины, должны присоединяться к их вторичным выводам без предохранителей и автоматических выключателей;

устройство релейной форсировки должно выполняться так, чтобы исключалась возможность его ложной работы при перегорании одного из предохранителей с первичной стороны трансформаторов напряжения.

При подключении АРВ к трансформатору напряжения, не имеющему предохранителей на первичной стороне:

АРВ и другие устройства системы возбуждения должны присоединяться к их вторичным выводам через автоматические выключатели;

должны быть предусмотрены мероприятия по использованию вспомогательных контактов автоматического выключателя, исключающие перегрузку или недопустимое снижение возбуждения машины в случае отключения автоматического выключателя.

К трансформаторам напряжения, к которым подключаются АРВ и другие устройства системы возбуждения, как правило, не должны присоединяться другие устройства и приборы. В отдельных случаях допускается присоединение этих устройств и приборов через отдельные автоматические выключатели или предохранители.

3.3.54. Устройства АРВ гидрогенераторов должны быть выполнены так, чтобы в случае сброса нагрузки при исправном регуляторе скорости исключалось срабатывание защиты от повышения напряжения. При необходимости устройство АРВ может быть дополнено релейным устройством быстродействующего развозбуждения.

3.3.55. Схема устройства релейной форсировки возбуждения должна предусматривать возможность перевода его действия на резервный возбудитель при замене им основного возбудителя.

3.3.56. Устройства компаундирования возбуждения должны присоединяться к трансформаторам тока со стороны вывода генератора или синхронного компенсатора (со стороны шин).

3.3.57. Для синхронных генераторов и компенсаторов с непосредственным охлаждением, генераторов мощностью 15 МВт и более и компенсаторов мощностью 15 Мвар и более, электростанций и подстанций без постоянного дежурства персонала в помещении щита управления должно быть предусмотрено автоматическое ограничение перегрузки с выдержкой времени, зависящей от кратности перегрузки.

До освоения серийного выпуска устройств автоматического ограничения перегрузки с зависимой выдержкой времени для машин мощностью до 200 МВт (Мвар) допускается устанавливать устройства ограничения с независимой по времени характеристикой.

Устройство автоматического ограничения перегрузки не должно препятствовать форсировке возбуждения в течение времени, которое допускается для соответствующего исполнения машины.

3.3.58. Для генераторов мощностью 100 МВт и более и для компенсаторов мощностью 100 Мвар и более следует устанавливать быстродействующие системы возбуждения с АРВ сильного действия.

В отдельных случаях, определяемых условиями работы электростанции в энергосистеме, допускается устанавливать АРВ другого типа, а также медленно действующие системы возбуждения.

3.3.59. Система возбуждения и устройства АРВ должны обеспечивать устойчивое регулирование в пределах от наименьшего допустимого до наибольшего допустимого значения тока возбуждения. Для синхронных компенсаторов с неререверсивной системой возбуждения регулирование должно обеспечиваться начиная от значения тока ротора, практически равного нулю, а для компенсаторов с реверсивной системой возбуждения - от наибольшего допустимого значения отрицательного тока возбуждения.

Для машин, работающих в блоке с трансформаторами, должна быть предусмотрена возможность токовой компенсации потери напряжения в трансформаторе.

3.3.60. Генераторы мощностью 2,5 МВт и более гидро- и тепловых электростанций с числом агрегатов четыре и более должны оснащаться общестанционными АСУ технологическими процессами или (при их отсутствии) системами группового управления возбуждением. Эти системы на генераторах тепловых электростанций рекомендуется выполнять в зависимости от схемы, режима и мощности электростанции.

3.3.61. Трансформаторы с РПН распределительных подстанций и собственных нужд электростанций, а также линейные регуляторы распределительных подстанций для поддержания или заданного изменения напряжения должны оснащаться системой автоматического регулирования коэффициента трансформации. При необходимости автоматические регуляторы должны обеспечивать встроенное регулирование напряжения.

Подстанции, на которых предусматривается параллельная работа трансформаторов (автотрансформаторов) с автоматическим регулированием коэффициента трансформации, должны оснащаться общеподстанционной автоматизированной системой управления технологическими процессами или системой группового регулирования, исключающей появление недопустимых уравнильных токов между трансформаторами.

3.3.62. Конденсаторные установки должны быть оборудованы устройствами автоматического регулирования в соответствии с гл. 5.6.

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ И АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ (АРЧМ)**

3.3.63. Системы автоматического регулирования частоты и активной мощности (АРЧМ) предназначены для:

поддержания частоты в энергообъединениях и изолированных энергосистемах в нормальных режимах согласно требованиям ГОСТ на качество электрической энергии;

регулирования обменных мощностей энергообъединений и ограничения перетоков мощности по контролируемым внешним и внутренним связям энергообъединений и энергосистем;

распределения мощности (в том числе экономичного) между объектами управления на всех уровнях диспетчерского управления (между объединенными энергосистемами в "ЕЭС России", энергосистемами в ОЭС, электростанциями в энергосистемах и агрегатами или энергоблоками в пределах электростанций).

3.3.64. Системы АРЧМ должны обеспечивать (при наличии необходимого регулировочного диапазона) на управляемых электростанциях поддержание среднего отклонения частоты от заданного значения в пределах  $\pm 0,1$  Гц в десятиминутных интервалах и ограничение перетока мощности по контролируемым связям с подавлением не менее чем на 70% амплитуды колебаний перетока мощности с периодом 2 мин и более.

3.3.65. В систему АРЧМ должны входить:

устройства автоматического регулирования частоты, обменной мощности и ограничения перетоков на диспетчерских пунктах "ЕЭС России" и ОЭС;

устройства распределения управляющих воздействий от вышестоящих систем АРЧМ между управляемым электростанциями и устройства ограничения перетоков по контролируемым внутренним связям на диспетчерских пунктах энергосистем;

устройства управления активной мощностью на электростанциях, привлекаемых к участию в автоматическом управлении мощностью;

датчики перетоков активной мощности и средства телемеханики.

3.3.66. Устройства АРЧМ на диспетчерских пунктах должны обеспечивать выявление отклонений фактического режима работы от заданного, формирование и передачу управляющих воздействий для диспетчерских пунктов нижнего уровня управления и для электростанций, привлекаемых к автоматическому управлению мощностью.

3.3.67. Устройства автоматического управления мощностью электростанций должны обеспечивать:

прием и преобразование управляющих воздействий, поступающих с диспетчерских пунктов вышестоящего уровня управления, и формирование управляющих воздействий на уровне управления электростанций;

формирование управляющих воздействий на отдельные агрегаты (энергоблоки);

поддержание мощности агрегатов (энергоблоков) в соответствии с полученными управляющими воздействиями.

3.3.68. Управление мощностью электростанции должно осуществляться со статизмом по частоте, изменяемым в пределах от 3 до 6%.

3.3.69. На гидроэлектростанциях системы управления мощностью должны иметь автоматические устройства, обеспечивающие пуск и останов агрегатов, а при необходимости также перевод агрегатов в режимы синхронного компенсатора и генераторный в зависимости от условий и режима работы электростанций и энергосистемы с учетом имеющихся ограничений в работе агрегатов.

Гидроэлектростанции, мощность которых определяется режимом водотока, рекомендуется оборудовать автоматическими регуляторами мощности по водотоку.

3.3.70. Устройства АРЧМ должны допускать оперативное изменение параметров настройки при изменении режимов работы объекта управления, оснащаться элементами сигнализации, блокировками и защитами, предотвращающими неправильные их действия при нарушении нормальных режимов работы объектов управления, при неисправностях в самих устройствах, а также исключающими те действия, которые могут помешать функционированию устройств противоаварийной автоматики.



На тепловых электростанциях устройства АРЧМ должны быть оборудованы элементами, предотвращающими те изменения технологических параметров выше допустимых пределов, которые вызваны действием этих устройств на агрегаты (энергоблоки).

3.3.71. Средства телемеханики должны обеспечивать ввод информации о перетоках по контролируемым внутрисистемным и межсистемным связям, передачу управляющих воздействий и сигналов от устройств АРЧМ на объекты управления, а также передачу необходимой информации на вышестоящий уровень управления.

Суммарное значение сигналов в средствах телемеханики и устройствах АРЧМ не должно превышать 5 с.

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НАРУШЕНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ**

3.3.72. Устройства автоматического предотвращения нарушений устойчивости энергосистем должны предусматриваться в зависимости от конкретных условий гам, где это технически и экономически целесообразно, - для сохранения динамической устойчивости и обеспечения нормативного запаса статической устойчивости в послеаварийных режимах.

Устройства автоматического предотвращения нарушения устойчивости могут предусматриваться для действия в случаях:

а) отключения линии без повреждения, а также при повреждениях в результате однофазных КЗ при работе основной защиты и ОАПВ в возможных режимах повышенной загрузки электропередач и в ремонтных схемах сети; допускается применение устройств автоматики при этих повреждениях и в нормальных схемах и режимах энергосистемы, если нарушение устойчивости в результате отказа автоматики не может привести к потере значительной части нагрузки энергосистемы (например, за счет действия АЧР);

б) отключения линий в результате многофазных КЗ при работе основной защиты в нормальной и ремонтной схемах сети; допускается не учитывать наиболее редкие режимы повышенной загрузки электропередач;

в) отказов выключателя с действием УРОВ при КЗ в нормальном режиме работы энергосистемы и в нормальной схеме работы сети;

г) полного разделения энергосистемы на несинхронно работающие части электропередач в нормальном режиме;

д) значительного аварийного дефицита или избытка мощности в одной из соединяемых частей энергообъединения;

е) работы устройств БАПВ или АПВ в нормальной схеме и режиме.

3.3.73. Устройства автоматического предотвращения нарушений устойчивости могут воздействовать на:

а) отключение части генераторов гидроэлектростанций и как исключение - генераторов или блоков тепловых электростанций;

б) быстрое снижение или увеличение нагрузки паровыми турбинами в пределах возможностей теплосилового оборудования (без последующего автоматического восстановления прежней нагрузки);

в) отключение (в исключительных случаях) части нагрузки потребителей, легко переносящих кратковременный перерыв электроснабжения (специальное автоматическое отключение нагрузки);

г) деление энергосистем (если указанные выше мероприятия недостаточны);

д) кратковременное быстрое снижение нагрузки паровых турбин (с последующим автоматическим восстановлением прежней нагрузки).

Устройства автоматического предотвращения нарушений устойчивости могут изменять режим работы устройств продольной и поперечной емкостной компенсации и другого оборудования электропередачи, например шунтирующих реакторов, автоматических регуляторов возбуждения генераторов и т. п. Снижение активной мощности электростанций при повреждениях по 3.3.72, пп. а и б, желательно ограничивать тем объемом и в основном теми случаями, когда это не ведет к действию АЧР в энергосистеме или к другим неблагоприятным последствиям.

3.3.74. Интенсивность управляющих воздействий, подаваемых устройствами автоматического предотвращения нарушений устойчивости (например, мощность отключаемых генераторов или глубина разгрузки турбин), должна определяться интенсивность возмущающего воздействия (например, сброс передаваемой активной мощности при возникновении КЗ и продолжительность последнего) или переходного процесса, фиксируемых автоматически, а также тяжестью исходного режима, фиксируемой также автоматически или, в исключительных случаях, персоналом.

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРЕКРАЩЕНИЕ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА**

3.3.75. Для прекращения асинхронного режима (АР) в случае его возникновения должны в основном применяться устройства автоматики, отличающие асинхронный режим от синхронных качаний, КЗ или других ненормальных режимов работы.

По возможности указанные устройства следует выполнять так, чтобы они прежде всего способствовали осуществлению мероприятий, направленных на облегчение условий ресинхронизации, например:

быстрому набору нагрузки турбинами или частичному отключению потребителей (в той части энергосистемы, в которой возник дефицит мощности);

уменьшению генерирующей мощности путем воздействия на регуляторы скорости турбин или отключения части генераторов (в той части энергосистемы, в которой возник избыток мощности).

Автоматическое разделение энергосистемы в заданных точках применяется после возникновения АР, если указанные мероприятия не приводят к ресинхронизации после прохождения заданного числа циклов качаний, или при длительности асинхронного хода больше заданного предела.

В случаях недопустимости асинхронного режима, опасности или малой эффективности ресинхронизации для прекращения АР необходимо использовать деление с наименьшим временем, при котором обеспечивается устойчивость по другим связям и селективное действие автоматики.

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ СНИЖЕНИЯ ЧАСТОТЫ**

3.3.76. Автоматическое ограничение снижения частоты должно выполняться с таким расчетом, чтобы при любом возможном дефиците мощности в энергообъединении, энергосистеме, энергоузле возможность снижения частоты ниже уровня 45 Гц была исключена полностью, время работы с частотой ниже 47 Гц не превышало 20 с, а с частотой ниже 48,5 Гц - 60 с.

3.3.77. Система автоматического ограничения снижения частоты осуществляет:

автоматический частотный ввод резерва;

автоматическую частотную разгрузку (АЧР);

дополнительную разгрузку;

включение питания отключенных потребителей при восстановлении частоты (ЧАПВ);

выделение электростанций или генераторов со сбалансированной нагрузкой, выделение генераторов на питание собственных нужд электростанций.

3.3.78. Автоматический ввод резерва при снижении частоты должен использоваться в первую очередь, чтобы по возможности уменьшить объем отключения или длительность перерыва питания потребителей, и предусматривает:

мобилизацию включенного резерва на тепловых электростанциях;

автоматический пуск гидроагрегатов, находящихся в резерве;

автоматический переход в активный режим гидрогенераторов, работающих в режиме синхронных компенсаторов;

автоматический пуск газотурбинных установок.

3.3.79. Автоматическая частотная разгрузка предусматривает отключение потребителей небольшими долями по мере снижения частоты (АЧРІ) или по мере увеличения продолжительности существования пониженной частоты (АЧРІІ).

Устройства АЧР должны устанавливаться, как правило, на подстанциях энергосистемы. Допускается их установка непосредственно у потребителей под контролем энергосистемы.

Объемы отключения нагрузки устанавливаются, исходя из обеспечения эффективности при любых возможных дефицитах мощности; очередность отключения выбирается так, чтобы уменьшить ущерб от перерыва электроснабжения, в частности должно применяться большее число устройств и очередей АЧР, более ответственные потребители должны подключаться к более дальним по вероятности срабатывания очередям.

Действие АЧР должно быть согласовано с работой устройств АПВ и АВР. Недопустимо уменьшение объема АЧР за счет действия устройств АВР или персонала.

3.3.80. Устройства дополнительной разгрузки должны применяться в тех энергосистемах или частях энергосистемы, где возможны особенно большие местные дефициты мощности, при которых действие устройств АЧРІ оказывается недостаточно эффективным по значению и скорости разгрузки.

Необходимость выполнения дополнительной разгрузки, ее объем, а также факторы, по которым осуществляется ее срабатывание (отключение питающих элементов, сброс активной мощности и т. п.), определяется энергосистемой.

3.3.81. Устройства ЧАПВ используются для уменьшения перерыва питания отключенных потребителей в условиях восстановления частоты в результате реализации резервов генерирующей мощности, ресинхронизации или синхронизации по отключившейся электропередаче.

При размещении устройств и распределении нагрузки по очередям ЧАПВ следует учитывать степень ответственности потребителей, вероятность их отключения действием АЧР, сложность и длительность неавтоматического восстановления электропитания (исходя из принятого порядка обслуживания объектов). Как правило, очередность включения нагрузки от ЧАПВ должна быть обратной по сравнению с принятой для АЧР.

3.3.82. Выделение электростанций или генераторов со сбалансированной нагрузкой, выделение генераторов на питание собственных нужд применяется:

для сохранения в работе собственных нужд электростанций;

для предотвращения полного погашения электростанций при отказе или недостаточной эффективности устройств ограничения снижения частоты по 3.3.79 и 3.3.81;

для обеспечения питания особо ответственных потребителей;

взамен дополнительной разгрузки, когда это технически и экономически целесообразно.

3.3.83. Необходимость применения дополнительной разгрузки, объемы отключаемой (при АЧР) и включаемой (при ЧАПВ) нагрузки, уставки по времени, частоте и другим контролируемым параметрам для устройств ограничения снижения частоты определяются при эксплуатации энергосистем в соответствии с ПТЭ и другими директивными материалами.

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЧАСТОТЫ**

3.3.84. С целью предотвращения недопустимого повышения частоты на тепловых станциях, которые могут оказаться работающими параллельно с гидроэлектростанциями значительно большей мощности в условиях сброса нагрузки, должны применяться устройства автоматики, действующей при повышении частоты выше 52-53 Гц. Эти устройства должны в первую очередь действовать на отключение части генераторов ГЭС. Возможно применение устройств, действующих на отключение ТЭС с нагрузкой, по возможности соответствующей их мощности, от ГЭС.

Кроме того, в узлах энергосистемы, содержащих только ГЭС, должны предусматриваться устройства, ограничивающие аварийное повышение частоты значением 60 Гц за счет отключения части генераторов для обеспечения нормальной работы двигательной нагрузки, а в узлах, содержащих только ТЭС, - устройства, ограничивающие длительное повышение частоты значением, при котором нагрузка энергоблоков не выходит за пределы их регулировочного диапазона.

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ СНИЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ**

3.3.85. Устройства автоматического ограничения снижения напряжения должны предусматриваться с целью исключения нарушения устойчивости нагрузки и возникновения лавины напряжения в послеаварийных условиях работы энергосистемы.

Указанные устройства могут контролировать кроме значения напряжения другие параметры, включая производную напряжения, и воздействуют на форсировку возбуждения синхронных машин, форсировку устройств компенсации, отключение реакторов и в порядке исключения, при недостаточности сетевых мероприятий и наличии обоснования - на отключение потребителей.

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ**

3.3.86. С целью ограничения длительности воздействия повышенного напряжения на высоковольтное оборудование линий электропередачи, электростанций и подстанций, вызванного односторонним отключением фаз линий, должны применяться устройства автоматики, действующие при повышении напряжения выше 110-130% номинального, при необходимости с контролем значения и направления реактивной мощности по линиям электропередачи.

Эти устройства должны действовать с выдержкой времени, учитывающей допустимую длительность перенапряжений и отстроенной от длительности коммутационных и атмосферных перенапряжений и качаний, в первую очередь на включение шунтирующих реакторов (если таковые имеются на электростанции или подстанции, где зафиксировано повышение напряжения). Если на электростанции или подстанции отсутствуют шунтирующие реакторы, имеющие выключатели, или включение реакторов не приводит к требуемому снижению напряжения, устройства должны действовать на отключение линии, вызвавшей повышение напряжения.

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПЕРЕГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ**

3.3.87. Устройства автоматического предотвращения перегрузки оборудования предназначены для ограничения длительности такого тока в линиях, трансформаторах, устройствах продольной компенсации, который превышает наибольший длительно допустимый и допускается менее 10-20 мин.

Указанные устройства должны воздействовать на разгрузку электростанций, могут воздействовать на отключение потребителей и деление системы, а в качестве последней ступени - на отключение перегружающегося оборудования. При этом должны быть приняты меры по предотвращению нарушений устойчивости и других неблагоприятных последствий.

## ТЕЛЕМЕХАНИКА

3.3.88. Средства телемеханики (телеуправление, телесигнализация, телеизмерение и телерегулирование) должны применяться для диспетчерского управления территориально рассредоточенными электроустановками, связанными общим режимом работы, и их контроля. Обязательным условием применения средств телемеханики является наличие технико-экономической целесообразности (повышение эффективности диспетчерского управления, т.е. улучшение ведения режимов и производственных процессов, ускорение ликвидации нарушений и аварий, повышение экономичности и надежности работы электроустановок, улучшение качества вырабатываемой энергии, снижение численности эксплуатационного персонала и отказ от постоянного дежурства персонала, уменьшение площадей производственных помещений и т. п.).

Средства телемеханики могут применяться также для телепередачи сигналов систем АРЧМ, противоаварийной автоматики и других системных устройств регулирования и управления.

3.3.89. Объемы телемеханизации электроустановок должны определяться отраслевыми или ведомственными положениями и устанавливаться совместно с объемами автоматизации. При этом средства телемеханизации в первую очередь должны использоваться для сбора информации о режимах работы, состоянии основного коммутационного оборудования, изменениях при возникновении аварийных режимов или состояний, а также для контроля за выполнением распоряжений по производству переключений (плановых, ремонтных, оперативных) или ведению режимов эксплуатационным персоналом).

При определении объемов телемеханизации электроустановок без постоянного дежурства персонала в первую очередь должна быть рассмотрена возможность применения простейшей телесигнализации (аварийно-предупредительная телесигнализация на два или более сигналов).

3.3.90. Телеуправление должно предусматриваться в объеме, необходимом для централизованного решения задач по установлению надежных и экономически выгодных режимов работы электроустановок, работающих в сложных сетях, если эти задачи не могут быть решены средствами автоматики.

Телеуправление должно применяться на объектах без постоянного дежурства персонала, допускается его применение на объектах с постоянным дежурством персонала при условии частого и эффективного использования.

Для телеуправляемых электроустановок операции телеуправления, так же как и действие устройств защиты и автоматики, не должны требовать дополнительных оперативных переключений на месте (с выездом или вызовом оперативного персонала).

При примерно равноценных затратах и технико-экономических показателях предпочтение должно отдаваться автоматизации перед телеуправлением.

3.3.91. Телесигнализация должна предусматриваться:

для отображения на диспетчерских пунктах положения и состояния основного коммутационного оборудования тех электроустановок, находящихся в непосредственном оперативном управлении или ведении диспетчерских пунктов, которые имеют существенное значение для режима работы системы энергоснабжения;

для ввода информации в вычислительные машины или устройства обработки информации;

для передачи аварийных и предупредительных сигналов.

Телесигнализация с электроустановок, которые находятся в оперативном управлении нескольких диспетчерских пунктов, как правило, должна передаваться на вышестоящий диспетчерский пункт путем ретрансляции или отбора с нижестоящего диспетчерского пункта.

Система передачи информации, как правило, должна выполняться не более чем с одной ступенью ретрансляции.

Для телесигнализации состояния или положения оборудования электроустановок, как правило, должен использоваться в качестве датчика один вспомогательный контакт или контакт реле-повторителя.

3.3.92. Телеизмерения должны обеспечивать передачу основных электрических или технологических параметров (характеризующих режимы работы отдельных электроустановок), необходимых для установления и контроля оптимальных режимов работы всей системы энергоснабжения в целом, а также для предотвращения или ликвидации возможных аварийных процессов.

Телеизмерения наиболее важных параметров, а также параметров, необходимых для последующей ретрансляции, суммирования или регистрации, должны выполняться, как правило, непрерывными.

Система передачи телеизмерений на вышестоящие диспетчерские пункты, как правило, должна выполняться не более чем с одной ступенью ретрансляции.

Телеизмерения параметров, не требующих постоянного контроля, должны осуществляться периодически или по вызову.

При выполнении телеизмерений должны учитываться необходимость местного отсчета параметров на контролируемых пунктах. Измерительные преобразователи (датчики телеизмерений), обеспечивающие местный отсчет показаний, как правило, должны устанавливаться вместо щитовых приборов, если при этом сохраняется класс точности измерений (см. также гл. 1.6).

3.3.93. Объемы телемеханизации электроустановок, требования к устройствам телемеханики и каналам связи (тракт телепередачи) при использовании средств телемеханики для целей телерегулирования определяются в части точности, надежности и запаздывания информации проектом автоматического регулирования частоты и потоков мощности в объединенных энергосистемах. Телеизмерения параметров, необходимых для системы автоматического регулирования частоты и потоков мощности, должны выполняться непрерывными.

Тракт телепередачи, используемый для измерения потоков мощности, а также для передачи сигналов телерегулирования на основные или группу регулирующих электростанций, как правило, должен иметь дублированный канал телемеханики, состоящий из двух независимых каналов.

В устройствах телемеханики должны быть предусмотрены защиты, воздействующие на систему автоматического регулирования при различных повреждениях в устройствах или каналах телемеханики.

3.3.94. В каждом отдельном случае должна быть рассмотрена целесообразность совместного решения вопросов телемеханизации (особенно при выполнении каналов телемеханики и диспетчерских пунктов) в системах электро-, газо-, водо-, тепло- и воздухообеспечения и уличного освещения, контроля и управления производственными процессами.

3.3.95. Для крупных подстанций и электрических станций с большим числом генераторов и при значительных расстояниях от машинного зала, повысительной подстанции и других сооружений электростанции до центрального пункта управления при технической целесообразности необходимо предусматривать средства внутриобъектной телемеханизации. Объемы средств внутриобъектной телемеханизации должны выбираться в соответствии с требованиями технологического управления электростанций, а также с технико-экономическими показателями при конкретном проектировании.

3.3.96. При совместном применении различных систем телемеханики на одном диспетчерском пункте операции, производимые диспетчером, должны быть, как правило, одинаковыми.

3.3.97. При применении устройств телемеханики должна быть предусмотрена возможность отключения на месте:

одновременно всех цепей телеуправления и телесигнализации при помощи устройств, образующих, как правило, видимый разрыв цепи;

цепей телеуправления и телесигнализации каждого объекта с помощью специальных зажимов, испытательных блоков и других устройств, образующих видимый разрыв цепи.

3.3.98. Внешние связи устройств телемеханики должны выполняться в соответствии с требованиями гл. 3.4.

3.3.99. Электроизмерительные приборы-преобразователи (датчики телеизмерений), являясь стационарными электроизмерительными приборами, должны устанавливаться в соответствии с гл. 1.6.

3.3.100. В качестве каналов телемеханики могут быть использованы применяемые для других целей или самостоятельные проводные (кабельные и воздушные, уплотненные и неуплотненные) каналы, высокочастотные каналы по ВЛ и распределительной сети, радио и радиорелейные каналы связи.

Выбор способа организации каналов телемеханики, использование существующих или организация самостоятельных каналов, необходимость резервирования должны определяться технико-экономической целесообразностью и требуемой надежностью.

3.3.101. Для рационального использования аппаратуры телемеханики и каналов связи при обеспечении необходимой надежности и достоверности передачи информации допускается:

1. Телеизмерение мощности нескольких параллельных линий электропередачи одного напряжения выполнять как одно телеизмерение суммарной мощности.

2. Для телеизмерения по вызову на контролируемом пункте применять общие устройства для однородных измерений, а на диспетчерских пунктах - общие приборы для измерений, поступающих с разных контролируемых пунктов; при этом должна быть исключена возможность одновременной передачи или приема измерений.

3. Для сокращения объема телеизмерений рассматривать возможность замены их телесигнализацией предельных значений контролируемых параметров или устройствами сигнализации и регистрации отклонений параметров от установленной нормы.

4. Для одновременной передачи непрерывных телеизмерений и телесигнализации использовать комплексные устройства телемеханики.

5. Работа одного передающего устройства телемеханики на несколько диспетчерских пунктов, а также одного устройства телемеханики диспетчерского пункта на несколько контролируемых пунктов, в частности для сбора информации в городских и сельских распределительных сетях.

6. Ретрансляция на диспетчерский пункт предприятия электросетей с диспетчерских пунктов участков электрифицированных железных дорог телесигнализации и телеизмерений с тяговых подстанций.

3.3.102. Питание устройств телемеханики (как основное, так и резервное) на диспетчерских и контролируемых пунктах должно осуществляться совместно с питанием аппаратуры каналов связи и телемеханики.

Резервное питание устройств телемеханики на контролируемых пунктах с оперативным переменным током должно предусматриваться при наличии источников резервирования (другие секции систем шин, резервные вводы, аккумуляторные батареи устройств каналов связи, трансформаторы напряжения на вводах, отбор от конденсаторов связи и т. п.). Если резервные источники питания для каких-либо других целей не предусматриваются, то резервирование питания устройств телемеханики, как правило, не должно предусматриваться. Резервное питание устройств телемеханики на контролируемых пунктах, имеющих аккумуляторные батареи оперативного тока, должно осуществляться через преобразователи. Резервное питание устройств телемеханики, установленных на диспетчерских пунктах объединенных энергосистем и предприятий электросетей, должно осуществляться от независимых источников (аккумуляторной батареи с преобразователями постоянного тока в переменный, двигателя-генератора внутреннего сгорания) совместно с устройствами каналов связи и телемеханики.

Переход на работу от источников резервного питания при нарушении электроснабжения основных источников должен быть автоматизирован. Необходимость резервирования питания на диспетчерских пунктах промышленных предприятий должна определяться в зависимости от требований по обеспечению надежности энергоснабжения.

3.3.103. Вся аппаратура и панели телемеханики должны иметь маркировку и устанавливаться в местах, удобных для эксплуатации.

## Глава 3.4

### ВТОРИЧНЫЕ ЦЕПИ

3.4.1. Настоящая глава Правил распространяется на вторичные цепи (цепи управления, сигнализации, контроля, автоматики и релейной защиты) электроустановок.

3.4.2. Рабочее напряжение вторичных цепей присоединения, которое не имеет связи с другими присоединениями, должно быть не выше 1 кВ. Во всех остальных случаях рабочее напряжение вторичных цепей должно быть не выше 500 В.

Исполнение присоединяемых аппаратов должно соответствовать условиям окружающей среды и требованиям безопасности.

3.4.3. На электростанциях и подстанциях для вторичных цепей следует применять контрольные кабели с алюминиевыми жилами из полутвердого алюминия. Контрольные кабели с медными жилами следует применять только во вторичных цепях:

1) электростанций с генераторами мощностью более 100 МВт; при этом на электростанциях для вторичной коммутации и освещения объектов химводоочистки, очистных, инженерно-бытовых и вспомогательных сооружений, механических мастерских и пусковых котельных следует применять контрольные кабели с алюминиевыми жилами;

2) РУ и подстанций с высшим напряжением 330 кВ и выше, а также РУ и подстанций, включаемых в межсистемные транзитные линии электропередачи;

3) дифференциальных защит шин и устройств резервирования отказа выключателей 110-220 кВ, а также средств системной противоаварийной автоматики;

4) технологических защит тепловых электростанций;

5) с рабочим напряжением не выше 60 В при диаметре жил кабелей и проводов до 1 мм (см. также 3.4.4);

6) размещаемых во взрывоопасных зонах классов В-I и В-Ia электростанций и подстанций.

На промышленных предприятиях для вторичных цепей следует применять контрольные кабели с алюмомедными или алюминиевыми жилами из полутвердого алюминия. Контрольные кабели с медными жилами следует применять только во вторичных цепях, размещаемых во взрывоопасных зонах классов В-I и В-Ia, во вторичных цепях механизмов доменных и конвертерных цехов, главной линии обжимных и непрерывных высокопроизводительных прокатных станков, электроприемников особой группы I категории, а также во вторичных цепях с рабочим напряжением не выше 60 В при диаметре жил кабелей и проводов до 1 мм (см. также 3.4.4).

3.4.4. По условию механической прочности:

1) жилы контрольных кабелей для присоединения под винт к зажимам панелей и аппаратов должны иметь сечения не менее  $1,5 \text{ мм}^2$  (а при применении специальных зажимов - не менее  $1,0 \text{ мм}^2$ ) для меди и  $2,5 \text{ мм}^2$  для алюминия; для токовых цепей -  $2,5 \text{ мм}^2$  для меди и  $4 \text{ мм}^2$  для алюминия; для неотчетственных вторичных цепей, для цепей контроля и сигнализации допускается присоединение под винт кабелей с медными жилами сечением  $1 \text{ мм}^2$ ;

2) в цепях с рабочим напряжением 100 В и выше сечение медных жил кабелей, присоединяемых пайкой, должно быть не менее  $0,5 \text{ мм}^2$ ;



3) в цепях с рабочим напряжением 60 В и ниже диаметр медных жил кабелей, присоединяемых пайкой, должен быть не менее 0,5 мм. В устройствах связи, телемеханики и им подобных линейные цепи следует присоединять к зажимам под винт.

Присоединение однопроволочных жил (под винт или пайкой) допускается осуществлять только к неподвижным элементам аппаратуры. Присоединение жил к подвижным или выемным элементам аппаратуры (вычным соединителям, выемным блокам и др.), а также к панелям и аппаратам, подверженным вибрации, следует выполнять гибкими (многопроволочными) жилами.

3.4.5. Сечение жил кабелей и проводов должно удовлетворять требованиям их защиты от КЗ без выдержки времени, допустимых длительных токов согласно гл. 1.3, термической стойкости (для цепей, идущих от трансформаторов тока), а также обеспечивать работу аппаратов в заданном классе точности. При этом должны быть соблюдены следующие условия:

1. Трансформаторы тока совместно с электрическими цепями должны работать в классе точности:

для расчетных счетчиков - по гл. 1,5;

для измерительных преобразователей мощности, используемых для ввода информации в вычислительные устройства, - по гл. 1.5, как для счетчиков технического учета;

для щитовых приборов и измерительных преобразователей тока и мощности, используемых для всех видов измерений, - не ниже класса точности 3;

для защиты, как правило, в пределах 10%-ной погрешности (см. также гл. 3.2.).

2. Для цепей напряжения потери напряжения от трансформатора напряжения при условии включения всех защит и приборов должны составлять:

до расчетных счетчиков и измерительных преобразователей мощности, используемых для ввода информации в вычислительные устройства, - не более 0,5%;

до расчетных счетчиков межсистемных линий электропередачи - не более 0,25%;

до счетчиков технического учета - не более 1,5%;

до щитовых приборов и датчиков мощности, используемых для всех видов измерений, - не более 1,5%;

до панелей защиты и автоматики - не более 3% (см. также гл. 3.2.).

При совместном питании указанных нагрузок по общим жилам их сечение должно быть выбрано по минимальной из допустимых норм потери напряжения.

3. Для цепей оперативного тока потери напряжения от источника питания должны составлять:

до панели устройства или до электромагнитов управления, не имеющих форсировки, - не более 10% при наибольшем токе нагрузки;

до электромагнитов управления, имеющих трехкратную и большую форсировку, - не более 25% при форсировочном значении тока.

4. Для цепей напряжения устройств АРВ потеря напряжения от трансформатора напряжения до измерительного органа должна составлять не более 1%.

3.4.6. В одном контрольном кабеле допускается объединение цепей управления, измерения, защиты и сигнализации постоянного и переменного тока, а также силовых цепей, питающих электроприемники небольшой мощности (например, электродвигатели задвижек).

Во избежание увеличения индуктивного сопротивления жил кабелей разводку вторичных цепей трансформаторов тока и напряжения необходимо выполнять так, чтобы сумма токов этих цепей в каждом кабеле была равна нулю в любых режимах.

Допускается применение общих кабелей для цепей разных присоединений, за исключением взаимно резервируемых.

3.4.7. Кабели, как правило, следует присоединять к сборкам зажимов. Присоединение двух медных жил кабеля под один винт не рекомендуется, а двух алюминиевых жил не допускается.

К выводам измерительных трансформаторов или отдельным аппаратам кабели допускается присоединять непосредственно.

Исполнение зажимов должно соответствовать материалу и сечению жил кабелей.

3.4.8. Соединение контрольных кабелей с целью увеличения их длины допускается, если длина трассы превышает строительную длину кабеля. Соединение кабелей, имеющих металлическую оболочку, следует осуществлять с установкой герметичных муфт.

Кабели с неметаллической оболочкой или с алюминиевыми жилами следует соединять на промежуточных рядах зажимов или с помощью специальных муфт, предназначенных для данного типа кабелей.

3.4.9. Кабели вторичных цепей, жилы кабелей и провода, присоединяемые к сборкам зажимов или аппаратам, должны иметь маркировку.

3.4.10. Типы проводов и кабелей для вторичных цепей, способы их прокладки и защиты следует выбирать с учетом требований гл. 2.1-2.3 и 3.1 в той части, в которой они не изменены настоящей главой. При прокладке проводов и кабелей по горячим поверхностям или в местах, где изоляция может подвергаться воздействию масел и других агрессивных сред, следует применять специальные провода и кабели (см. гл. 2.1).

Провода и жилы кабеля, имеющие несветостойкую изоляцию, должны быть защищены от воздействия света.

3.4.11. Кабели вторичных цепей трансформаторов напряжения 110 кВ и выше, прокладываемые от трансформатора напряжения до щита, должны иметь металлическую оболочку или броню, заземленную с обеих сторон. Кабели в цепях основных и дополнительных обмоток одного трансформатора напряжения 110 кВ и выше по всей длине трассы следует прокладывать рядом. Для цепей приборов и устройств, чувствительных к наводкам от других устройств или проходящих рядом цепей, должны быть применены экранированные провода, а также контрольные кабели с общим экраном или кабели с экранированными жилами.

3.4.12. Монтаж цепей постоянного и переменного тока в пределах щитовых устройств (панели, пульты, шкафы, ящики и т. п.), а также внутренние схемы соединений приводов выключателей, разъединителей и других устройств по условиям механической прочности должны быть выполнены проводами или кабелями с медными жилами сечением не менее:

для однопроволочных жил, присоединяемых винтовыми зажимами,  $1,5 \text{ мм}^2$ ;

для однопроволочных жил, присоединяемых пайкой,  $0,5 \text{ мм}^2$ ;

для многопроволочных жил, присоединяемых пайкой или под винт с помощью специальных наконечников,  $0,35 \text{ мм}^2$ ; в технически обоснованных случаях допускается применение проводов с многопроволочными медными жилами, присоединяемыми пайкой, сечением менее  $0,35 \text{ мм}^2$ , но не менее  $0,2 \text{ мм}^2$ ;

для жил, присоединяемых пайкой в цепях напряжением не выше 60 В (диспетчерские щиты и пульты, устройства телемеханики и т. п.), -  $0,197 \text{ мм}^2$  (диаметр - не менее 0,5 мм).

Присоединение однопроволочных жил (под винт или пайкой) допускается осуществлять только к неподвижным элементам аппаратуры. Присоединение жил к подвижным или выемным элементам аппаратуры (разъемным соединителям, выемным блокам и др.) следует выполнять гибкими (многопроволочными) жилами.

Механические нагрузки на места пайки проводов не допускаются.

Для переходов на дверцы устройств должны быть применены многопроволочные провода сечением не менее  $0,5 \text{ мм}^2$ ; допускается также применение проводов с однопроволочными

жилами сечением не менее  $1,5 \text{ мм}^2$  при условии, что жгут проводов работает только на кручение.

Сечение проводов на щитовых устройствах и других изделиях заводского изготовления определяется требованиями их защиты от КЗ без выдержки времени, допустимых токовых нагрузок согласно гл. 1.3, а для цепей, идущих от трансформаторов тока, кроме того, и термической стойкостью. Для монтажа следует применять провода и кабели с изоляцией, не поддерживающей горение.

Применение проводов и кабелей с алюминиевыми жилами для внутреннего монтажа щитовых устройств не допускается.

3.4.13. Соединения аппаратов между собой в пределах одной панели следует выполнять, как правило, непосредственно без выведения соединяющих проводов на промежуточные зажимы.

На зажимы или испытательные блоки должны быть выведены цепи, в которые требуется включать испытательные и проверочные аппараты и приборы. Рекомендуется также выводить на ряд зажимов цепи, переключение которых требуется для изменения режима работы устройства.

3.4.14. Промежуточные зажимы следует устанавливать только там, где:

провод переходит в кабель;

объединяются одноименные цепи (сборка зажимов цепей отключения, цепей напряжения и т. п.);

требуется включать переносные испытательные и измерительные аппараты, если нет испытательных блоков или аналогичных устройств;

несколько кабелей переходит в один кабель или перераспределяются цепи различных кабелей (см. также 3.4.8).

3.4.15. Зажимы, относящиеся к разным присоединениям или устройствам, должны быть выделены в отдельные сборки зажимов.

На рядах зажимов не должны находиться в непосредственной близости один от другого зажимы, случайное соединение которых может вызвать включение или отключение присоединения или КЗ в цепях оперативного тока или в цепях возбуждения.

При размещении на панели (в шкафу) аппаратуры, относящейся к разным видам защит или других устройств одного присоединения, подача питания от полюсов оперативного тока через сборки зажимов, а также разводка этих цепей по панели должны быть выполнены независимо для каждого вида защит или устройств. Если в цепях отключения от отдельных комплектов защит не предусматриваются накладки, то присоединение этих цепей к выходному реле защиты или цепям отключения выключателя следует осуществлять через отдельные зажимы сборки зажимов; при этом соединения по панели указанных цепей следует выполнять независимо для каждого вида защит.

3.4.16. Для проведения эксплуатационных проверок и испытаний в цепях защиты и автоматики следует предусматривать испытательные блоки или измерительные зажимы, обеспечивающие (за исключением случаев, оговоренных в 3.4.7) без отсоединения проводов и кабелей отключение от источника оперативного тока, трансформаторов напряжения и тока с возможностью предварительного закорачивания токовых цепей; присоединение испытательных аппаратов для проверки и наладки устройств.

Устройства релейной защиты и автоматики, периодически выводимые из работы по требованиям режима сети, условиям селективности другим причинам, должны иметь специальные приспособления для вывода их из работы оперативным персоналом.

3.4.17. Сборки зажимов, вспомогательные контакты выключателей и разъединителей и аппараты должны устанавливаться, а заземляющие проводники монтироваться так, чтобы была обеспечена доступность и безопасность обслуживанияборок и аппаратов вторичных цепей без снятия напряжения с первичных цепей напряжением выше 1 кВ.

3.4.18. Изоляция аппаратуры, применяемой во вторичных цепях, должна соответствовать нормам, определяемым рабочим напряжением источника (или разделительного трансформатора), питающего данные цепи.

Контроль изоляции цепей оперативного постоянного и переменного тока следует предусматривать на каждом независимом источнике (включая разделительные трансформаторы), не имеющем заземления.

Устройство контроля изоляции должно обеспечивать подачу сигнала при снижении изоляции ниже установленного значения, а на постоянном токе - также измерение значения сопротивления изоляции полюсов. Контроль изоляции допускается не выполнять при неразветвленной сети оперативного тока.

3.4.19. Питание оперативным током вторичных цепей каждого присоединения следует осуществлять через отдельные предохранители или автоматические выключатели (применение последних предпочтительно).

Питание оперативным током цепей релейной защиты и управления выключателями каждого присоединения должно предусматриваться, как правило, через отдельные автоматические выключатели или предохранители, не связанные с другими цепями (сигнализация, электромагнитная блокировка и т. п.). Допускается совместное питание цепей управления и ламп сигнализации положения управляемого аппарата.

Для присоединений 220 кВ и выше, а также для генераторов (блоков) мощностью 60 МВт и более должно быть предусмотрено отдельное питание оперативным током (от разных предохранителей, автоматических выключателей) основных и резервных защит.

При последовательном включении автоматических выключателей и предохранителей последние должны быть установлены перед автоматическими выключателями (со стороны источника питания).

3.4.20. Устройства релейной защиты, автоматики и управления ответственных элементов должны иметь постоянно действующий контроль состояния цепей питания оперативным током. Контроль может осуществляться применением отдельных реле или ламп либо при помощи аппаратов, предусматриваемых для контроля исправности цепи последующей операции коммутационных аппаратов с дистанционным управлением.

Для менее ответственных устройств контроль питания может осуществляться подачей сигнала об отключенном положении автоматического выключателя в цепи оперативного тока.

Контроль исправности цепи последующей операции должен быть выполнен при наличии в ней вспомогательного контакта коммутационного аппарата. При этом контроль исправности цепи отключения должен быть выполнен во всех случаях, а контроль исправности цепи включения - на выключателях ответственных элементов, короткозамыкателей и на аппаратах, включаемых под действием устройств автоматического ввода резерва (АВР) или телеуправления.

Если параметры цепей включения привода не обеспечивают возможность контроля исправности этой цепи, контроль не выполняется.

3.4.21. В электроустановках, как правило, должна быть обеспечена автоматическая подача сигнала о нарушении нормального режима работы и о возникновении каких-либо неисправностей.

Проверка исправности этой сигнализации должна быть предусмотрена периодическим ее опробованием.

В электроустановках, работающих без постоянного дежурства персонала, должна быть обеспечена подача сигнала в пункт нахождения персонала.

3.4.22. Цепи оперативного тока, в которых возможна ложная работа различных устройств от перенапряжения при работе электромагнитов включения или других аппаратов, а также при замыканиях на землю, должны быть защищены.

3.4.23. Заземление во вторичных цепях трансформаторов тока следует предусматривать в одной точке на ближайшей от трансформаторов тока сборке зажимов или на зажимах трансформаторов тока.

Для защит, объединяющих несколько комплектов трансформаторов тока, заземление должно быть предусмотрено также в одной точке; в этом случае допускается заземление через пробивной предохранитель с пробивным напряжением не выше 1 кВ с шунтирующим сопротивлением 100 Ом для стекания статического заряда.

Вторичные обмотки промежуточных разделительных трансформаторов тока допускается не заземлять.

3.4.24. Вторичные обмотки трансформатора напряжения должны быть заземлены соединением нейтральной точки или одного из концов обмотки с заземляющим устройством.

Заземление вторичных обмоток трансформатора напряжения должно быть выполнено, как правило, на ближайшей от трансформатора напряжения сборке зажимов или на зажимах трансформатора напряжения.

Допускается объединение заземляемых вторичных цепей нескольких трансформаторов напряжения одного распределительного устройства общей заземляющей шинкой. Если указанные шинки относятся к разным распределительным устройствам и находятся в разных помещениях (например, релейные щиты распределительных устройств различных напряжений), то эти шинки, как правило, не следует соединять между собой.

Для трансформаторов напряжения, используемых в качестве источников оперативного переменного тока, если не предусматривается рабочее заземление одного из полюсов сети оперативного тока, защитное заземление вторичных обмоток трансформаторов напряжения должно быть осуществлено через пробивной предохранитель.

3.4.25. Трансформаторы напряжения должны быть защищены от КЗ во вторичных цепях автоматическими выключателями. Автоматические выключатели следует устанавливать во всех незаземленных проводниках после сборки зажимов, за исключением цепи нулевой последовательности (разомкнутого треугольника) трансформаторов напряжения в сетях с большими токами замыкания на землю.

Для неразветвленных цепей напряжения автоматические выключатели допускается не устанавливать.

Во вторичных цепях трансформатора напряжения должна быть обеспечена возможность создания видимого разрыва (рубильники, разъемные соединители и т. п.).

Установка устройств, которыми может быть создан разрыв проводников между трансформатором напряжения и местом заземления его вторичных цепей, не допускается.

3.4.26. На трансформаторах напряжения, установленных в сетях с малыми токами замыкания на землю без компенсации емкостных токов (например, на генераторном напряжении блока генератор - трансформатор, на напряжении собственных нужд электростанций и подстанций), при необходимости следует предусматривать защиту от перенапряжений при самопроизвольных смещениях нейтрали. Защита может быть осуществлена включением активных сопротивлений в цепь разомкнутого треугольника.

3.4.27. Во вторичных цепях линейных трансформаторов напряжения 220 кВ и выше должно быть предусмотрено резервирование от другого трансформатора напряжения.

Допускается выполнение взаимного резервирования между линейными трансформаторами напряжения при достаточной их мощности по вторичной нагрузке.

3.4.28. Трансформаторы напряжения должны иметь контроль исправности цепей напряжения.

Релейная защита, цепи которой питаются от трансформаторов напряжения, должна быть оборудована устройствами, указанными в 3.2.8.

Независимо от наличия или отсутствия в цепях защиты указанных устройств должны быть предусмотрены сигналы:

при отключении автоматических выключателей - с помощью их вспомогательных контактов;

при нарушениях работы реле-повторителей шинных разъединителей - с помощью устройств контроля обрыва цепей управления и реле-повторителей;

для трансформаторов напряжения, в цепи обмоток высшего напряжения которых установлены предохранители, при нарушении целостности предохранителей - с помощью центральных устройств.

3.4.29. В местах, подверженных сотрясениям и вибрациям, должны быть приняты меры против нарушения контактных соединений проводов, ложного срабатывания реле, а также против преждевременного износа аппаратов и приборов.

3.4.30. Панели должны иметь надписи с обслуживаемых сторон, указывающие присоединения, к которым относится панель, ее назначение, порядковый номер панели в щите, а установленная на панелях аппаратура должна иметь надписи или маркировку согласно схемам.