

## ВВЕДЕНИЕ

### В1. НАЗНАЧЕНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ

При эксплуатации энергетического оборудования и электрических сетей неизбежны их повреждения и не нормальные режимы. Наиболее опасными являются короткие замыкания, повреждения изоляции и перегрузки.

Короткие замыкания возникают из-за пробоя или перекрытия изоляции, обрывов проводов, ошибочных действий персонала (включения под напряжение заземленного оборудования, отключения разъединителей под нагрузкой) и других причин.

В большинстве случаев в месте КЗ возникает электрическая дуга, термическое действие которой приводит к разрушениям токоведущих частей, изоляторов и электрических аппаратов. При КЗ к месту повреждения подходят большие токи (токи КЗ), измеряемые тысячами ампер, которые перегревают неповрежденные токоведущие части и могут вызвать дополнительные повреждения, т. е. развитие аварии. Одновременно в сети, электрически связанной с местом повреждения, происходит глубокое понижение напряжения, что может привести к остановке электродвигателей и нарушению параллельной работы генераторов.

В большинстве случаев развитие аварий может быть предотвращено быстрым отключением поврежденного участка электрической установки или сети при помощи специальных автоматических устройств, действующих на отключение выключателей, и получивших название **релейная защита**.

При отключении выключателей поврежденного элемента гаснет электрическая дуга в месте КЗ, прекращается прохождение тока КЗ и восстанавливается нормальное напряжение на неповрежденной части электрической установки или сети. Благодаря этому минимизируются, или даже совсем предотвращаются повреждения оборудования, на котором возникло КЗ, а также восстанавливается нормальная работа неповрежденного оборудования.

Таким образом, **основным назначением релейной защиты** является выявление места возникновения КЗ и быстрое автоматическое отключение поврежденного оборудования или участка сети от остальной неповрежденной части электрической установки или сети.

Кроме повреждений электрического оборудования могут возникать такие нарушения нормальных режимов работы, как перегрузка, замыкание на землю одной фазы в сети с изолированной нейтралью, выделение газа в результате разложения масла в трансформаторе, или понижение уровня масла в его расширителе и др.

В указанных случаях нет необходимости немедленного отключения оборудования, так как эти явления не представляют непосредственной опасности для оборудования и могут самоустраниться. Поэтому, при нарушении нормального режима работы на подстанциях с постоянным обслуживающим персоналом, как правило, достаточно дать предупредительный сигнал персоналу подстанции. На подстанциях без постоянного обслуживающего персонала и, в отдельных случаях, на подстанциях с постоянным обслуживающим персоналом производится отключение оборудования, но обязательно с выдержкой времени.

Таким образом, **вторым назначением релейной защиты** является выявление нарушений нормальных режимов работы оборудования, которые могут привести к аварии, и подача предупредительных сигналов обслуживающему персоналу, или отключение оборудования с выдержкой времени.

Согласно с требованием ПТЭ, силовое оборудование электростанций, подстанций и электрических сетей должно быть защищено от коротких замыканий и нарушений нормальных режимов работы устройствами релейной защиты и электроавтоматики (РЗА). Устройства РЗА, аварийной и предупредительной сигнализации должны быть всегда готовы к действию и постоянно включены, кроме устройств, которые должны выводиться из работы в соответствии с назначением и принципом действия, режимом работы энергосистемы и условиями селективности.

Под **устройством релейной защиты** подразумевается совокупность реле, приборов и вспомогательных элементов, которые при возникновении повреждений и ненормальных режимов работы оборудования должны действовать на его отключение или на сигнал.

#### Классификация реле защиты

По способу подключения реле бывают:

- **Первичные** (прямое включение в цепь защищаемого элемента).
- **Вторичные** (включение через измерительные трансформаторы тока, напряжения).

По исполнению реле бывают:

- **Электромеханические**, с подвижными элементами и контактными системами.
- **Статические**, без подвижных элементов и контактов (электронные, микропроцессорные).

По назначению реле подразделяются на:

- **Измерительные реле** (тока, напряжения, сопротивления, мощности, частоты, температуры, уровня) могут быть максимальные или минимальные.
- **Логические реле** (промежуточные, двухпозиционные, времени, сигнальные).

Для измерительных реле характерно наличие опорных (образцовых) элементов в виде калиброванных пружин, источников стабильного напряжения, тока и т.п. Они входят в состав реле и воспроизводят заранее установленные значения (называемые уставкой) какой-либо физической величины, с которой сравнивается контролируемая величина. Измерительные реле обладают высокой чувствительностью (восприни-

мают даже не значительные изменения контролируемого параметра) и имеют высокий коэффициент возврата (отношение величины срабатывания и возврата). Максимальные реле срабатывают при повышении контролируемого параметра, а минимальные – при понижении.

Логические реле служат для размножения импульсов, полученных от других реле, усиления этих импульсов и передачи команд другим аппаратам (промежуточные реле), создания выдержек времени между отдельными операциями (реле времени), и для регистрации действия, как самих реле, так и других вторичных аппаратов (указательные реле).

**По способу воздействия на выключатель:**

- Реле **прямого действия** подвижная система которых механически связана с отключающим устройством коммутационного аппарата (РТМ, РТВ).
- Реле **косвенного действия**, которые управляют цепью электромагнита отключения.

**Основные виды релейной защиты:**

- **Максимальная токовая защита (МТЗ)**
- **Направленная максимальная токовая защита**
- **Газовая защита (ГЗ)**
- **Дифференциальная защита**
- **Защита минимального напряжения (ЗМН) и повышения напряжения (ЗПН)**
- **Дистанционная защита (ДЗ)**
- **Дифференциально-фазная (высокочастотная) защита (ДФЗ)**

Принцип действия и устройство отдельных защит будут рассмотрены далее.

Если назначением релейной защиты является в первую очередь отключение оборудования, то в функции **электроавтоматики** входит его включение. В чистом виде к электроавтоматике относят автоматическое повторное включение (**АПВ**) и автоматическое включение резервного питания или механизма (сокращенно автоматический ввод резерва — **АВР**).

Существуют также некоторые виды **технологической электроавтоматики**, обслуживаемые персоналом служб РЗА.

К ним относят:

- автоматическое регулирование возбуждения генераторов и синхронных двигателей (**АРВ**);
- автоматическое регулирование положения переключателя РПН силового трансформатора (**АРНТ**);
- автоматическую настройку дугогасящих катушек компенсации емкостного тока замыкания на землю в сети 6-35кВ (**АРК**);
- автоматическую регулировку батареи статических конденсаторов;
- автоматику охлаждения силовых трансформаторов;
- автоматическую точную синхронизацию генераторов;
- автоматическую самосинхронизацию генераторов;
- автоматический частотный пуск гидрогенераторов (**АЧП**);
- определение места повреждения линий электропередачи (**ОМП**).

Кроме этого существует **противоаварийная режимная автоматика**.

К ней относят:

- автоматическую частотную разгрузку (**АЧР**);
- автоматическое включение потребителей, отключенных действием АЧР, после восстановления частоты (**ЧАПВ**);
- автоматическое регулирование частоты и активной мощности (**АРЧМ**);
- дополнительная автоматическая разгрузка по напряжению (**ДАРН**);
- дополнительная автоматическая разгрузка по току (**ДАРТ**);

Имеется также противоаварийная системная автоматика: разгрузка электростанций, предотвращение и прекращение асинхронного режима, предотвращение недопустимого повышения напряжения в узле, балансировочная автоматика. Такие устройства размещаются на крупных электростанциях и подстанциях сверхвысокого напряжения, и в данной книге не рассматриваются.

## **В2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ**

К релейной защите предъявляются такие основные требования:

- 1. Быстродействие.**
- 2. Селективность.**
- 3. Чувствительность.**
- 4. Надежность.**

### **1. Быстродействие**

Быстродействие – это свойство релейной защиты отключать повреждение с минимально возможной выдержкой времени. Как уже указывалось, быстрое отключение поврежденного оборудования (участка электрической установки) предотвращает или уменьшает размеры повреждений, сохраняет нормальную работу потребителей неповрежденной части установки, предотвращает нарушение параллельной работы генераторов. Длительное протекание тока короткого замыкания может привести к повреждению неповрежденных участков оборудования, линий, трансформаторов по которым протекает ток короткого замыкания из-за

термического перегрева оборудования. Допустимое время протекания тока через оборудование, не вызывающее его повреждения указываются в ГОСТах на оборудование.

Например, допустимое время КЗ для трансформатора определяется по формуле:

$$t_{\text{дон.}} = \frac{900}{K^2} \quad (\text{В.1})$$

где

$K$  — отношение тока КЗ к номинальному току трансформатора.

Кроме того, согласно инструкции по эксплуатации трансформатора, время отключения ТКЗ не должно превышать 4–5 секунд.

Приблизительно минимальное сечение проводов воздушных и кабельных линий должно составлять:

$$S_{\text{min}} = \frac{I_{k \text{ max}}}{C} \cdot \sqrt{t_{\text{откл}}} \quad (\text{В.2})$$

где

$S_{\text{min}}$  — минимально допустимое сечение провода;

$I_{k \text{ max}}$  — ток КЗ в максимальном режиме в начале линии;

$C$  — постоянная провода, зависящая от конструкции линии, наличия оболочки, натяжения провода, условий теплоотдачи и т.д. Для грубых расчетов можно принять  $C = 69,5$ ;

$\sqrt{t_{\text{откл}}}$  — корень квадратный из времени отключения короткого замыкания при данном токе.

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{сз1}} + t_{\text{сз2}} = 2t_{\text{откл.выкл.}} \quad (\text{В.3})$$

где

$t_{\text{откл}}$  — полное время отключения КЗ;

$t_{\text{сз1}}$  — время срабатывания защиты до АПВ;

$t_{\text{сз2}}$  — время срабатывания защиты после АПВ;

$t_{\text{откл.выкл.}}$  — время отключения выключателя.

При этом считается, что за время АПВ температура провода существенно не снизится и время воздействия тока на нагрев провода суммируется. Для более точных расчетов следует использовать специальные методики.

Для обеспечения устойчивости параллельной работы генераторы, трансформаторы, линии электропередачи, по которым осуществляется параллельная работа, и все другие части электрической установки или электрической сети, должны оснащаться быстродействующей релейной защитой. Современные устройства быстродействующей релейной защиты имеют время действия 0,02–0,1 секунды.

Для распределительных сетей такое быстродействие необязательно. Оно определяется термической устойчивостью, но и в этом случае следует стремиться к минимально возможной выдержке времени. Время срабатывания быстродействующей ступени защиты должно составлять 0,05–0,1 секунды.

## 2. Селективность или избирательность

Селективностью называется способность релейной защиты выявлять место повреждения и отключать его только ближайшими к нему выключателями (см. рис. В.1).

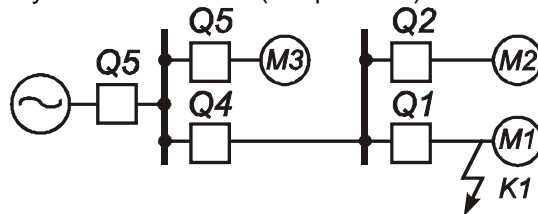


Рис. В.1 Схема электроустановки к пояснению принципа селективности релейной защиты.

Так, при КЗ в точке  $K1$  (рис. В.1) для правильной ликвидации аварии должна подействовать защита только на выключателе  $Q1$  и отключить этот выключатель. При этом остальная неповрежденная часть электрической установки останется в работе. Такое избирательное действие защиты называется селективным.

Если же при КЗ в точке  $K1$  раньше защиты выключателя  $Q1$  или одновременно с ней подействует защита выключателя  $Q4$  и отключит этот выключатель, то ликвидация аварии будет неправильной, так как, кроме поврежденного электродвигателя  $M1$  останется без напряжения неповрежденный электродвигатель  $M2$ . Такое действие защиты называется неселективным.

Из рис. В.1 видно, что если при КЗ в точке  $K1$  подействует неправильно защита выключателя  $Q5$  и отключит этот выключатель, то последствия такого неселективного действия будут еще более тяжелыми, так как без напряжения останутся оба неповрежденных электродвигателя  $M2$  и  $M3$ .

Рассмотренный пример показывает, какое важное значение имеет выполнение требования селективности для обеспечения правильной ликвидации аварий.

В ряде случаев одновременное выполнение требований селективности и быстродействия вызывает серьезные трудности и требует существенного усложнения защиты. В таких случаях в первую очередь обеспечивается выполнение того из требований, которое в данных конкретных условиях является определяющим.

По принципу действия защиты могут иметь **абсолютную селективность** (срабатывают только при КЗ в защищаемой зоне), или **относительную селективность** (могут работать в качестве резервных при КЗ на смежных участках).

Примером защит с абсолютной селективностью могут служить газовая (ГЗ) и дифференциальная защиты трансформатора (ДЗТ), а защит с относительной селективностью - максимальная токовая защита (МТЗ).

Применяется несколько способов обеспечения селективности.

**Селективность по принципу действия.** Защита принципиально не срабатывает при коротком замыкании вне зоны действия, например зона действия дифзащиты ограничивается местом установки ее трансформаторов тока.

**Селективность по чувствительности.** Ток, напряжение или сопротивление срабатывания выбирается таким образом, чтобы защита не действовала при коротком замыкании на смежной линии, или за трансформатором – токовая отсечка.

**Селективность по времени:** Выдержка времени каждой предшествующей защиты (например, максимальной токовой защиты) выбирается на ступень селективности больше чем последующая. Поэтому она не успевает сработать, так как ее опережает защита последующей линии при коротком замыкании на ней. Этот принцип наиболее прост, однако имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что выдержка времени растет по мере приближения к источнику питания, а значит возрастания тока. Это противоречит принципу быстродействия, поэтому приходится выбирать, какой принцип – быстродействие или селективность важнее. Значительно улучшает положение применение ступенчатых защит или защит с зависимой выдержкой времени. Использование ступенчатых защит будет изложено при рассмотрении принципов выполнения защиты оборудования. Величина ступени селективности определяется точностью защиты, быстродействием примененного выключателя и для современных микроэлектронных или микропроцессорных защит составляет 0.2–0.3 сек.

### 3. Чувствительность

Чувствительность – это свойство защиты надежно срабатывать при КЗ в конце защищаемого участка в минимальном режиме работы системы.

Защита должна обладать такой чувствительностью к тем видам повреждений и нарушений нормального режима работы данной электрической установки, или электрической сети, на которые она рассчитана, чтобы было обеспечено ее действие в начальный момент возникновения повреждения, чем сокращаются размеры повреждения оборудования в месте КЗ.

Чувствительность защиты должна также обеспечивать ее действие при повреждениях на смежных участках. Так, например, если при повреждении в точке К1 (рис. В.1) по какой-либо причине не отключится выключатель Q1, то должна подействовать защита следующего к источнику питания выключателя Q4 и отключить этот выключатель. Такое действие защиты называется дальним резервированием смежного или следующего участка.

Чувствительность защиты оценивается коэффициентом чувствительности, определяемым как отношение минимального значения контролируемой величины при КЗ в конце защищаемого участка к уставке защиты ( $K_{\text{ч}} > 1$ ). Коэффициенты чувствительности защит нормируются ПУЭ (л. 1), и величина их составляет для КЗ в защищаемой зоне  $K_{\text{ч}}=1,5$ ; в зоне резервирования —  $K_{\text{ч}}=1,2$ ; для быстродействующих дифференциальных защит  $K_{\text{ч}}=2$ .

Ток срабатывания защиты должен быть меньше тока короткого замыкания на величину, определяемую коэффициентом чувствительности ( $K_{\text{ч}}$ ). Уставка по напряжению и сопротивлению должна быть больше параметров напряжения и сопротивления срабатывания на такую же величину. Коэффициент чувствительности учитывает погрешности реле, расчета параметров, влияние переходного сопротивления и электрической дуги в месте КЗ.

### 4. Надежность

Надежность – это свойство защиты гарантированно выполнять свои функции на протяжении всего периода эксплуатации. Защита должна правильно и безотказно действовать на отключение выключателей оборудования при всех его повреждениях и нарушениях нормального режима работы, для защиты от которых она предназначена, и не действовать в нормальных условиях, а также при таких повреждениях и нарушениях нормального режима работы, при которых действие данной защиты не предусмотрено, и должна действовать другая защита. Требование надежности обеспечивается совершенством принципов защиты и конструкций аппаратуры, добротностью деталей, простотой выполнения, а также уровнем эксплуатации.

Требуемое состояние устройств защиты поддерживается плановыми проверками релейной защиты, при которых необходимо выявить и устранить возникшие дефекты. У современных микропроцессорных и микроэлектронных устройств защиты существуют встроенные системы автоматической и тестовой проверки, позволяющие быстро выявить появившиеся неисправности, и тем самым предотвратить отказ или неправильную работу защиты. Глубина таких проверок может быть большой, но не достигает 100%. Поэтому,

наличие тестовых проверок или автоматического контроля не исключает необходимости плановых проверок, но существенно уменьшают частоту и объем их проведения.

Для дальнейшего повышения надежности применяют принципы ближнего или дальнего резервирования. Ближнее резервирование обеспечивается установкой на данном присоединении второй, резервной защиты, а для резервирования отказа выключателя — применение специального устройства резервирования отказа выключателя (**УРОВ**). При дальнем резервировании отказ защиты и выключателя резервируется резервной защитой на вышестоящем, предшествующем элементе. Дальнее резервирование обеспечить в ряде случаев принципиально сложно, а то и невозможно. Поэтому, ПУЭ (л.1) допускает отказ от дальнего резервирования защитами линий питаемых от них отпаечных трансформаторов, а также, защитой ввода - фидеров, отходящих от шин НН, СН подстанции. При отсутствии такого резервирования, последствия отказа нерезервируемых защит очень тяжелы: это выгорание секций шин и трансформаторов на питающих подстанциях, выгорание отходящей линии на большом протяжении. Поэтому, следует стремиться к применению дополнительных средств ближнего и дальнего резервирования, и отказываться от него только при полной технической невозможности. Затраты на дополнительные устройства рано или поздно себя окупят за счет спасения дорогостоящего оборудования.

### **В3. ОСНОВНЫЕ ОРГАНЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ**

Устройства релейной защиты состоят, как правило, из таких основных частей:

- пусковых органов;
- измерительных органов;
- логической части;
- исполнительной части;
- передающей части.

**Пусковые органы** непосредственно и непрерывно контролируют состояние и режим работы защищаемого оборудования, и реагируют на возникновение КЗ или нарушения нормального режима работы. Пусковые органы выполняются с помощью реле тока, напряжения, мощности и др.

**На измерительные органы** возлагается задача определения места и характера повреждения и принятие решения о необходимости действия защиты. Измерительные органы также выполняются с помощью реле тока, напряжения, мощности и др. Функции пускового и измерительного органа могут быть объединены в одном органе.

**Логическая часть** представляет собой схему, которая запускается пусковыми органами и, сопоставляя последовательность и продолжительность действия измерительных органов, производит отключение выключателей мгновенно, или с выдержкой времени; запускает другие устройства, подает сигналы и производит прочие предусмотренные действия. Логическая часть состоит в основном из элементов времени (таймеров), логических элементов, промежуточных и указательных реле. В аналоговых и микропроцессорных устройствах к ним добавляются дискретные входы и индикаторные светодиоды.

**Исполнительная часть** выполняет действие на отключение (включение) выключателей, или других внешних устройств.

**Передающая часть** используется в некоторых видах защит. Например, приемопередающая аппаратура ВЧ канала у дифференциально-фазных защит.

### **В4. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ**

#### **Автоматическое регулирование возбуждения генераторов и синхронных двигателей (АРВ)**

Автоматика управляет величиной тока возбуждения и воздействует на аппарат, называемый возбудителем, который управляет током ротора генератор. Измерительные органы АРВ контролируют напряжение и ток генератора, и поддерживают напряжение на выводах генератора, согласно принятому закону регулирования. Возбудителем может быть машина постоянного тока, машина переменного тока, или трансформатор, после которых установлен выпрямитель с тиристорным управлением током возбуждения. Для того, чтобы обеспечить быстрый подъем напряжения при коротких замыканиях, в устройстве АРВ предусматривается форсировка возбуждения, быстро поднимающая напряжение на выводах генератора при его посадках.

#### **Автоматическое регулирование напряжения силового трансформатора (АРНТ)**

АРНТ устанавливается на трансформаторах оснащенных РПН (регулятором под нагрузкой).

Автоматика регулирует уровень напряжения на шинах НН (НН и СН) трансформатора путем переключения количества витков, как правило, на стороне высокого напряжения трансформатора (в двухобмоточных трансформаторах иногда переключаются витки обмотки НН).

Трансформатор с РПН имеет несколько ответвлений (не менее 9), которые можно переключать под нагрузкой. Поскольку число витков меняется на стороне высокого напряжения, регулирование получается обратным: наибольшему количеству витков на стороне ВН соответствует наименьшее напряжение стороны ВН. Нумерация ответвлений идет в обратном порядке: наибольшему числу витков соответствует наименьший номер ответвления (1), а наименьшему - наибольший (9, 19 и т.д.).

Поэтому, для того чтобы поднять напряжение на стороне НН, нужно увеличить номер ответвления. Переключение ответвлений производится безразрывно с помощью контакторов, расположенных в специальном отсеке. Этот отсек герметически изолирован от масла в баке трансформатора и имеет специальную газовую (струйную) защиту на случай повреждения в нем. Подробное описание регулятора см. п. 10.4.

### **Автоматика настройки дугогасящих катушек компенсации емкостного тока замыкания на землю в сети 6-35кВ (АРК)**

Катушка компенсации емкостного тока замыкания на землю включается в нейтраль специального трансформатора, подключенного к шинам, где производится регулирование. Индуктивность катушки (ДГК) меняется с помощью переключателя ответвления – ступенчато, или плавно, перемещением железного плунжера в магнитном зазоре сердечника ДГК. В последнем случае появляется возможность плавного регулирования индуктивности ДГК. Для автоматического регулирования применяются специальные регуляторы, получившие название РАНК или АРК. Регулирование производится до момента настройки системы в резонанс (напряжений) – емкость сети равна суммарной индуктивности дугогасящих катушек, при этом емкостной ток замыкания на землю минимален и равен суммарному току ДГК.

Наиболее широко используются 2 принципа автоматики регулирования ДГК: **фазовый** и **экстремальный**.

**Фазовый.** При настройке ДГК в резонанс ток замыкания на землю активный, поэтому ток в дугогасящей катушке совпадает по фазе с напряжением нулевой последовательности сети. Таким образом, угол между током и напряжением (фаза), подаваемыми к регулятору должен быть равен  $0^\circ$ . На этом принципе работает регулятор РАНК.

**Экстремальный регулятор** использует то явление, что при настройке в резонанс контура из индуктивности и емкости, его сопротивление наибольшее, а значит и наибольшее напряжение нулевой последовательности (напряжение смещения нейтрали) в сети. Таким образом, регулятор должен находить наибольшее напряжение смещения нейтрали, а значит и точку резонансной настройки.

### **Автоматика регулировки батареи статических конденсаторов**

Автоматика используется для дополнительной регулировки напряжения на шинах — при пониженном напряжении включается группа конденсаторов, которая это напряжение повышает (за счет уменьшения потерь напряжения в питающей линии от перетока реактивной мощности). Кроме регулирования напряжения, эта автоматика может служить для регулирования коэффициента мощности ( $\cos \varphi$ ) в электроустановках потребителей. Очень часто потребителей обязывают поддерживать  $\cos \varphi$  своей электроустановки на уровне 0.95, что и выполняется путем подключения регулируемой батареи конденсаторов. При регулировке напряжения используются 2 реле напряжения: реле повышения напряжения отключает группу конденсаторов, а реле понижения напряжения ее наоборот включает.

При регулировке  $\cos \varphi$  используется реле реактивной мощности, установленное на стороне НН силового трансформатора (на кабельном вводе). Если подстанция принимает реактивную мощность больше определенной уставкой величины, включается дополнительная секция батареи, если она выдает эту мощность в сторону питающей линии, то батарея конденсаторов должна быть отключена.

### **Автоматика охлаждения силовых трансформаторов**

Автоматика применяется для управления охлаждением масляных трансформаторов. Существуют три системы принудительного масляного охлаждения:

**Д** — дутьевое охлаждение: на охладителях трансформаторов устанавливаются дутьевые вентиляторы, обдувающие их воздухом. Масло в охладители поступает путем естественной циркуляции. Такая автоматика охлаждения работает по следующему принципу: вентиляторы включаются, если ток нагрузки трансформатора достигает номинального, независимо от температуры, или если температура верхних слоев масла достигает  $+55^\circ\text{C}$ , независимо от величины тока. Вентиляторы отключаются, если ток в трансформаторе снижается ниже 0,85-0,9 номинального (уставка определяется током возврата токового реле, пускающего охлаждение), и при этом отсутствует независимый пуск по температуре, а также в случае снижения температуры ниже  $+45...50^\circ\text{C}$ , при отсутствии пуска по току нагрузки. Все охладители управляются одновременно. Таким образом, в схеме автоматики предусматривается два независимых пуска – по току и по температуре масла.

**ДЦ** — дутьевое охлаждение с принудительной циркуляцией масла. Устанавливается на трансформаторах и автотрансформаторах большой мощности. Масло через охладители прокачивается специальными маслососами. Обычно такая система содержит 4 охладителя, или группы охладителей. Первая группа включается при подаче на трансформатор напряжения. Вторая группа включается, когда ток через трансформатор превысит 40% номинального. Третья группа включается, если ток трансформатора превышает 80% номинального, или температура масла превысит  $50^\circ\text{C}$ . Четвертая группа является резервной и включается автоматически при отключении любой группы. Уставки даны условно, они определяются заводской инструкцией по эксплуатации системы охлаждения трансформатора.

**Ц** — циркуляционное охлаждение – применяется на автотрансформаторах и трансформаторах очень большой мощности. В этой системе масло прокачивается через промежуточные охладители, которые в свою очередь охлаждаются циркулирующей через них водой. Схема и уставки автоматики охлаждения определяются конструкцией трансформатора.

Практически все трансформаторы большой мощности в распредсетях имеют систему охлаждения **Д**.

Трансформаторы малой мощности имеют естественное масляное охлаждение, при котором радиаторы охлаждаются путем естественной циркуляции воздуха.

### **Автоматика точной синхронизации**

Автоматика точной синхронизации обеспечивается устройством называемым автосинхронизатором. Он срабатывает при приближении частоты вращения к номинальной и напряжения на генераторе к номиналь-

ному. На автосинхронизатор подается напряжение системы и генератора. Частота генератора подгоняется к частоте системы, напряжение генератора подгоняется к напряжению на шинах. Команда на включение генератора подается после подгонки с опережением, равным времени включения выключателя таким образом, чтобы момент включения совпал с моментом совпадения фаз.

#### **Автоматическая самосинхронизация**

Автоматическая самосинхронизация применяется главным образом для гидрогенераторов, синхронных компенсаторов и электродвигателей. При самосинхронизации частота генератора подгоняется приблизительно к частоте системы, а синхронные компенсаторы и электродвигатели асинхронным пуском разворачиваются до подсинхронной скорости вращения, после этого он включается в сеть, а затем на него подается возбуждение. Для контроля достижения необходимой скорости вращения используется специальное реле разности частот, на которое подается остаточное (без возбуждения) напряжение генератора и напряжение сети. Реле сравнивает частоты, и при разнице частот меньшей заданной уставки, дает разрешение на включение.

#### **Автоматический частотный пуск гидрогенераторов (АЧП)**

Гидрогенераторы обладают важным системным качеством: они способны быстро включаться в сеть и нагружаться, в отличие от паровых турбогенераторов, включение которых и набор мощности требует значительного времени, необходимого для прогрева турбины. Такое свойство гидрогенераторов используется для их автоматического пуска по частоте, получившего название АЧП. При снижении частоты в сети до величины 49.0 – 49.3 Гц, АЧП поочередно разворачивает генераторы, включает их в систему методом самосинхронизации и нагружает генераторы до заданной величины.

#### **Определение места повреждения линий электропередачи (ОМП)**

Поиск места повреждения на линии представляет сложную задачу из-за значительной длины линии и бездорожья в тех местах, где она обычно проходит. Поэтому, все линии напряжением 110 кВ и выше длиной свыше 20 км должны оснащаться средствами определения места повреждения. Желательно иметь такие средства и для линий меньшего напряжения и длины. Наиболее просто выглядит определение места короткого замыкания по его электрическим параметрам: току, напряжению, сопротивлению, которые изменяются при переносе точки КЗ вдоль линии. Параметры короткого замыкания запоминаются специальными приборами, называемыми фиксирующими, или осциллографами, а затем, по полученным данным, производится расчет места повреждения. Микропроцессорные защиты, как правило, запоминают параметры аварийного режима, при которых работала защита, и их можно использовать для расчета. Более сложные устройства (дистанционные) защиты обладают встроенной функцией определения места повреждения. Место повреждения такими устройствами определяется по односторонним замерам непосредственно в километрах. Подробно этот вопрос рассмотрен в главе 12.

#### **Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) и АПВ после АЧР (ЧАПВ)**

Устройства АЧР и ЧАПВ предназначены для поддержания частоты в допустимых пределах, при отсутствии в энергосистеме вращающегося резерва для ее поддержания на нужном уровне. При снижении частоты ниже заданного уровня начинают ступеньками отключаться потребители до тех пор, пока частота не достигнет длительно допустимого уровня. При появлении дополнительной генерации частота повышается, это повышение фиксируется измерительными органами ЧАПВ, и также ступеньками начинается включение потребителей, пока частота не опустится ниже уставки ЧАПВ, что означает исчерпание появившегося резерва мощности. Подробно АЧР и ЧАПВ описаны в пункте 10.3.

#### **Автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ)**

Все генераторы, работающие в энергосистеме, оснащены средствами регулирования оборотов, а значит и частоты. При понижении частоты эти регуляторы воздействуют на сервомоторы, увеличивающие расход пара в тепловую турбину, или воды гидротурбину, и таким образом регулируют мощность, а значит и частоту. Регулировать мощность целесообразно с учетом экономичности турбины, стремясь к тому, чтобы на более экономичных турбинах вырабатывать наибольшую мощность. Эти генераторы включаются в базу, то есть, работают с постоянной мощностью, а регулирование обычно осуществляется менее экономичными турбинами. Есть много других причин, определяющих порядок разгрузки и загрузки генераторов в энергосистеме. Блок генератор-турбина должен иметь регулировочный диапазон. Ведь недостаточно открыть доступ пара в турбину для увеличения мощности блока, этот дополнительный пар нужно еще выработать, для чего в котел нужно подать больше воды и топлива, и только после этого постепенно начнет увеличиваться мощность блока. При необходимости разгрузки приходится пар бесполезно сбрасывать в конденсатор, пока, после воздействия на котел, он уменьшит выработку пара. Регулировочный диапазон блока невелик, так как они разрабатывались для работы в базисном режиме, это означает, что именно при полной мощности достигается наибольшая экономичность и необходимый температурный режим блока. В базисе должны работать и атомные электростанции, стоимость выработки электроэнергии на которых значительно дешевле, чем на тепловых турбинах. На гидрогенераторах очень просто регулировать мощность, так как запас воды в водохранилище позволяет открыть направляющий аппарат турбины и набрать мощность, и также легко снизить мощность, перекрывая доступ воды, лишняя вода просто останется в водохранилище. Однако, количество воды в водохранилище меняется и, например, в паводок, когда водохранилище заполнено, снижение мощности генератора заставит бесполезно сбрасывать воду в нижний бьеф. А, когда водохранилище сработано, нецелесообразно расходовать остатки воды, которые могут пригодиться в аварийной ситуации. Из вышесказанного ясно, почему нельзя использовать регуляторы скорости (оборотов) турбин для поддержания нужной частоты. Такую функцию выполняет специальная система регулирования

частоты и активной мощности (АРЧМ). Эта система должна быть централизована. На верхнем уровне она определяет, на какие электростанции необходимо выполнять воздействие, а на уровне электростанции — определяет на какие конкретно блоки необходимо это воздействие направить. Вся эта структура связана каналами телемеханики и пока практически не работает. Отсутствие необходимого регулировочного диапазона заставляет регулировать мощность путем включения и отключения генераторов, ориентируясь на заранее рассчитанный график мощности, а вот уже отклонения от графика перекрывать за счет регулирования.

***Дополнительная автоматическая разгрузка по напряжению (ДАРН)***

На удаленных подстанциях автоматика ДАРН служит для разгрузки отключением фидеров при резком снижении напряжения. В случае потери основного питания, остается более слабое питание от удаленного источника. При этом не может быть обеспечено минимально допустимое напряжение у потребителя, что может привести к нарушению производства, или даже повреждению оборудования — электродвигатели при понижении напряжения начинают потреблять больший ток из сети, что приводит к их перегрузке по току и повреждению. Автоматика ДАРН действует так же, как АЧР, на отключение менее ответственных потребителей, выбранных заранее, и выполняется по таким же схемам.