

Лекция №34. Автоматическая частотная разгрузка.

Пока в энергосистеме имеется вращающийся резерв активной мощности, системы регулирования частоты и мощности будут поддерживать заданный уровень частоты. После того как вращающийся резерв будет исчерпан, дефицит активной мощности, вызванный отключением части генераторов или включением новых потребителей, повлечет за собой снижение частоты в энергосистеме.

Небольшое снижение частоты (на несколько десятых герца) не представляет опасности для нормальной работы энергосистемы, хотя влечет за собой ухудшение экономических показателей. Снижение же частоты более чем на 1–2 Гц представляет серьезную опасность и может привести к полному расстройству работы энергосистемы. Это в первую очередь определяется тем, что при понижении частоты снижается частота вращения электродвигателей, а следовательно, и производительность приводимых ими механизмов собственных нужд тепловых электростанций. Так, например, снижение частоты на 3–5 Гц приводит к уменьшению на 20–40% подачи воды в конденсатор циркуляционными насосами. При таком снижении частоты питательные насосы почти полностью прекращают подачу воды в котел. Вследствие снижения производительности механизмов собственных нужд резко уменьшается располагаемая мощность тепловых электростанций, особенно электростанций высокого давления, что влечет за собой дальнейшее снижение частоты в энергосистеме. Таким образом, происходит лавинообразный процесс – «лавина частоты», который может привести к полному расстройству работы энергосистемы. Следует также отметить, что современные крупные паровые турбины не могут длительно работать при низкой частоте из-за опасности повреждения их рабочих лопаток.

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

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

При отсутствии вращающегося резерва единственно возможным способом восстановления частоты в сети является отключение части наименее

ответственных потребителей. Это и осуществляется с помощью специальных устройств – автоматов *частотной разгрузки* (АЧР), срабатывающих при опасном снижении частоты в сети.

Изменение частоты энергосистемы является сложным процессом, связанным с изменением параметров отдельных её элементов: активной мощности, развиваемой агрегатами электростанций и мощности нагрузки, большая часть которой состоит из электродвигателей.

Глубина снижения частоты зависит не только от значения дефицита активной мощности в первый момент аварии, но и от характера нагрузки. Потребление мощности одной группой потребителей, к которой относятся электроосветительные приборы и другие установки, имеющие чисто активную нагрузку, не зависит от частоты и при её снижении остается постоянной. Потребление же другой группы потребителей (электродвигателей переменного тока) при уменьшении частоты снижается. Чем больше в энергосистеме доля нагрузки первой группы, тем больше снизится частота при возникновении одинакового дефицита активной мощности. Нагрузка потребителей второй группы будет в некоторой степени сглаживать эффект снижения частоты, поскольку одновременно будет уменьшаться потребление мощности электродвигателями.

Уменьшение мощности, потребляемой нагрузкой при снижении частоты или, как говорят, *регулирующий эффект нагрузки* характеризуется коэффициентом регулирующего эффекта K_H , равным отношению:

$$K_H = \frac{\Delta P\%}{\Delta f\%}.$$

Коэффициент K_H показывает, на сколько процентов уменьшается потребление нагрузкой активной мощности на каждый процент снижения частоты. Значение коэффициента регулирующего эффекта нагрузки должно определяться специальными испытаниями и принимается в расчетах равным 1,3.

Отклонение частоты в процентах, входящее в выражение (65),

$$\Delta f\% = \frac{\Delta f}{50} 100 = 2\Delta f,$$

где Δf – в герцах.

Подставляя это значение в выражение (65), получаем:

$$K_H = \frac{\Delta P\%}{2\Delta f},$$

откуда

$$\Delta f = \frac{\Delta P\%}{2K_H} \quad (66)$$

Таким образом, зная коэффициент K_H , можно по выражению (66) определить, на сколько герц снизится частота при определенном значении дефицита активной мощности ΔP , выраженном в процентах к полной нагрузке энергосистемы. Зная величину снижения частоты в аварийном режиме f_{AB} по

сравнению с номинальной частотой 50 Гц, можно определить установившиеся значение частоты:

$$f_{AB} = 50 - \Delta f \quad \text{или} \quad f_{AB} = 50 - \frac{\Delta P\%}{2K_H} \quad (67)$$

Если до возникновения дефицита энергосистема работала с частотой f_c , отличной от 50 Гц, выражение (67) будет иметь следующий вид:

$$f_{AB} = f_c - \frac{\Delta P\%}{2K_H} \quad (68)$$

Устройства АЧР должны устанавливаться там, где возможно возникновение значительного дефицита активной мощности во всей энергосистеме или в отдельных ее районах, а мощность потребителей, отключаемых при срабатывании АЧР, должна быть достаточной для предотвращения снижения частоты, угрожающего нарушением работы механизмов собственных нужд электростанций, что может повлечь за собой лавину частоты. В соответствии с ПТЭ устройства АВР должны исключать возможность даже кратковременного снижения частоты ниже 45 Гц, время работы с частотой ниже 47 Гц не должно превышать 20 с, а с частотой ниже 48,5 Гц – 60 с.

При выполнении АВР необходимо учитывать все реально возможные случаи аварийных отключений генерирующей мощности и разделения энергосистемы или энергообъединения на части, в которых может возникнуть дефицит активной мощности, а также то обстоятельство, что нагрузка, а следовательно, и возможный дефицит активной мощности меняются в зависимости от сезона, времени суток, дней недели. Для того чтобы суммарная мощность нагрузки потребителей, отключаемых действием АЧР, хотя бы примерно соответствовала дефициту активной мощности, возникшему при данной аварии, АЧР, как правило, выполняется многоступенчатым, в несколько очередей, отличающихся уставками по частоте срабатывания.



Рис. 42.

На рис. 42. приведены кривые, характеризующие процесс изменения частоты в энергосистеме при внезапном возникновении дефицита активной мощности. Если в энергосистеме отсутствует АЧР, то снижение частоты, вызванное дефицитом активной мощности, будет продолжаться до такого

установившегося значения, при котором за счет регулирующего эффекта нагрузки и действия регуляторов частоты вращения турбин вновь восстановится баланс генерируемой и потребляемой мощности при новом сниженном значении частоты (кривая I). Для восстановления в энергосистеме нормальной частоты в этом случае необходимо вручную отключить часть нагрузки потребителей, суммарное потребление мощности которыми при частоте 50 Гц равно дефициту мощности, вызвавшему аварийное снижение частоты.

Иначе будет протекать процесс изменения частоты при наличии АЧР (кривая II). Пусть, например, АЧР состоит из трех очередей с уставками срабатывания 48; 47,5 и 47 Гц. Когда частота снизится до 48 Гц (точка 1), сработают АЧР первой очереди и отключит часть потребителей: дефицит активной мощности уменьшится, благодаря чему уменьшится и скорость снижения частоты. При частоте 47,5 Гц (точка 2) сработают АЧР второй очереди, еще больше уменьшат дефицит активной мощности и скорость снижения частоты. При частоте 47 Гц (точка 3) сработают АЧР третьей очереди и отключат потребителей, мощность которых достаточна не только для прекращения снижения частоты, но и для её восстановления. Устройства АЧР, используемые для ликвидации аварийного дефицита активной мощности в энергосистемах, подразделяются на три основные категории (ПТЭ).

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

Мощность потребителей, подключаемых к устройствам АЧР I, $P_{АЧР I}$ определяется по формуле (ПТЭ)

$$P_{АЧР I} \geq \Delta P_{Г} + 0,05 - \Delta P_{РЕЗ}, \quad (69)$$

где: $\Delta P_{Г}$ - дефицит генерирующей мощности;
 $\Delta P_{РЕЗ}$ - учитываемая часть резерва мощности;
0,05 - запас.

В качестве $\Delta P_{РЕЗ}$ учитывается только гарантированный вращающийся резерв тепловых электростанций, обеспеченный по паропроизводительности котлов. Все величины в формуле (69) указаны в относительных единицах, причем за базисную мощность принята потребляемая мощность энергосистемы (района) в исходном режиме до возникновения дефицита мощности. Мощность, подключаемая а АЧР I, примерно равномерно распределена между очередями.

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

Уставки срабатывания всех АЧРІІ принимаются одинаковыми, равными верхней уставке АЧРІ или несколько большими (до 0,5 Гц), но не выше 49,2 Гц. Выдержки времени АЧРІІ отличаются друг от друга на 3 с и принимаются равными 5 – 90 с. Большие выдержки времени АЧРІІ принимаются для того, чтобы за это время были мобилизованы резервы активной мощности, имеющиеся в энергосистеме: загружены все работающие агрегаты, пущены и загружены резервные гидроагрегаты. При этом наибольшие выдержки времени (70–90 с) следует принимать в условиях возможной мобилизации мощности ГЭС. Объем нагрузки, подключаемый к АЧРІІ, зависит от способа осуществления этого вида автоматики, который может быть отдельным и совмещенным с АЧРІ. В первом случае к АЧРІІ подключаются другие потребители, а не те, которые подключены к АЧРІ. При совмещенном выполнении на отключение одних и тех же потребителей действуют как АЧРІ, так и АЧРІІ.

При отдельном выполнении АЧРІ и АЧРІІ суммарная мощность потребителей, подключенных к АЧРІІ, должна удовлетворять следующему условию:

$$P_{\text{АЧРІІ}} \geq 0,4P_{\text{АЧРІ}}, \quad (70)$$

но не менее 0,1.

При совмещении действия АЧРІ и АЧРІІ мощность потребителей, подключенных только к устройствам АЧРІІ, должна составлять:

$$P_{\text{АЧРІІ}} \geq 0,1 \quad (71)$$

В результате суммарная мощность потребителей, подключенных к устройствам АЧР, составит:

· при отдельном действии АЧРІ и АЧРІІ

$$\sum P_{\text{АЧР}} = P_{\text{АЧРІ}} + P_{\text{АЧРІІ}} = (\Delta P_{\Gamma} + 0,05) + 0,4(\Delta P_{\Gamma} + 0,05) = 1,4\Delta P_{\Gamma} + 0,07; \quad (72)$$

· при совмещенном действии АЧРІ и АЧРІІ,

$$\sum P_{\text{АЧР}} = P_{\text{АЧРІ}} + P_{\text{АЧРІІ}} = (\Delta P_{\Gamma} + 0,05) + 0,1 = \Delta P_{\Gamma} + 0,15. \quad (73)$$

При определенных выше параметрах настройки реле АЧР и объемах разгрузки предотвращается снижение частоты ниже 46 Гц и обеспечивается восстановление нормальной частоты в энергосистеме за время не более 1 – 1,5 мин. При заданных уставках, отличающихся на 0,1 Гц, допускается неселективная работа смежных очередей АЧР.

Кроме указанных категорий автоматической частотной разгрузки АЧРІ и АЧРІІ в эксплуатации применяется также так называемая дополнительная категория разгрузки. Такие устройства АЧР применяются для осуществления местной разгрузки при возникновении большого дефицита активной мощности в районе энергосистемы или на отдельной подстанции, когда суммарной мощности потребителей, подключенных к очередям АЧРІ и АЧРІІ, оказывается недостаточно для ликвидации возможного дефицита активной мощности в этом районе. Дополнительная разгрузка может выполняться как с помощью АЧР, так и с помощью других устройств противоаварийной автоматики.

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