

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО В СХЕМЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Аспирант В. И. СТАРОСТИН

Тяжелые последствия для энергосистемы, вызываемые качаниями и асинхронным ходом, когда за счет уравнивающих токов возрастают активные потери и в результате этого снижаются частота и напряжение, заставили на ряде электростанций, особенно в последнее десятилетие, устанавливать делительные устройства (защиты).

Такие делительные устройства создавались на токовом или частотном принципе, но схемы их, в достаточной степени, в печати не обсуждались. Имея существенные недостатки токовые делительные устройства в эксплуатации себя не оправдали.

Недооценка некоторыми авторами статей делительных устройств, работающих на частотном принципе [I. стр 31] состоит в том, что они рассматривают такие устройства, как противоаварийное мероприятие, обеспечивающее нормальную работу собственных нужд при снижении частоты, вызванной дефицитом мощности, но без нарушения параллельной работы. В этом случае, действительно, нет особой необходимости в делительных устройствах при наличии других эффективных мер (АЧР). Статистика последних лет показывает, что случаи нарушения статической устойчивости стали частым явлением в энергосистемах со слабыми связями, а это приводит к расстройству работы собственных нужд и АРЧ здесь бессильна вернуть систему в первоначальное устойчивое состояние. Кроме этого, отсутствие внимания к таким делительным устройствам объяснялось еще и тем, что для них требуется расчет уставок по частоте, напряжению и времени, и на этот вопрос ни противоаварийный циркуляр 3-Э Технического управления МЭС (1954 г.), ни директивные материалы Технического управления МЭС (1950 г.) ответа не давали. Генератор или несколько генераторов отделялись с нагрузкой собственных нужд вручную, а мерилom времени отделения и степени нарушения режима являлось условие, когда персонал видел начинающееся расстройство технологического процесса. Сейчас, при современном состоянии электростанций, повсеместном внедрении высоких и сверхвысоких параметров пара, больших мощностей, блочных схем, где тепломеханические процессы протекают скоротечно и собственные нужды весьма чувствительны к изменению частоты, следует снова вернуться к делительным устройствам, но уже автоматическим и рассматривать их назначение с других позиций.

Скелетная схема автоматического делительного устройства (АДУ) представляет собой следующую последовательность работы взаимосвязанных элементов как схемы электрических соединений, так и средств автоматики:

1. При существующем режиме работы электростанции на программном устройстве посредством накладок задается схема отделения собственных нужд и отдельных потребительских блоков от остальной электрической схемы.

Количество выделяемых генераторов должно быть таким, чтобы обеспечивалось надежное снабжение механизмов собственных нужд, а оставшаяся часть системы не испытывала большего дефицита активной мощности.

2. При нарушении нормального режима работы, вызванного понижением частоты и напряжения, пусковой орган АДУ реагирует на это своим первым и вторым каскадом или одним вторым, подавая командный импульс на программное устройство, которое запускается и действует с определенными выдержками времени через промежуточные реле на цепи управления выключателями в несколько этапов, создавая такую схему, которая была зафиксирована на накладках программного устройства.

Чтобы дать оценку возможным вариантам отделения собственных нужд и потребительских блоков, следует кратко остановиться на характеристике схемы электрических соединений исследуемой ТЭЦ.

Характеристика схемы электрических соединений первой очереди развития ТЭЦ

Представленная на рис. 1 схема электрических соединений, применяемая для многих типовых ТЭЦ, особого пояснения не требует. Положение разъединителей и выключателей зафиксировано для «нормальной» схемы. Элементы схемы, не участвующие в делении при работе АДУ, на рис. 1 не показаны. ТЭЦ связана с энергосистемой шестью 110 кВ линиями электропередачи, некоторые из них питают одновременно подстанции электрифицированной железной дороги. От генераторного распределительного устройства ГРУ-6 кВ при помощи реактированных линий получают питание особо ответственные потребители. Все генераторы, работающие на шины ГРУ-6 кВ, имеют мощность по 30 Мвт. По условиям токов короткого замыкания совместная работа двух и более генераторов на секции, не разделенные реакторами, длительно не допустима. Шины 110 и 35 кВ имеют дифзащиту, а из условий фиксированного присоединения элементов шиносоединительные выключатели при нормальной схеме включены. От шин 35 кВ питаются также особо ответственные потребители (заводы нефтехимии и водозабор). Как видно из схемы, собственные нужды имеют две линии резервного питания 10 шр и 20 шр, которые подают напряжение на резервные сборки, связанные между собой по схеме шлейфа. Схема собственных нужд имеет АВР.

Пропускная способность линии 1 шр и 2 шр по 750 а (6,4 Мвт), а остальных линий собственных нужд по 1000 а (8,7 Мвт), включая в кабельные перемычки 10—20 шр вместе с секционным выключателем.

Генераторы первой очереди, включенные по схеме блока, имеют мощность: № 1—30 Мвт, № 5—25 Мвт, № 9—50 Мвт.

Вторая очередь состоит из четырех блоков мощностью по 50 Мвт каждый (электрическая схема второй очереди не показана).

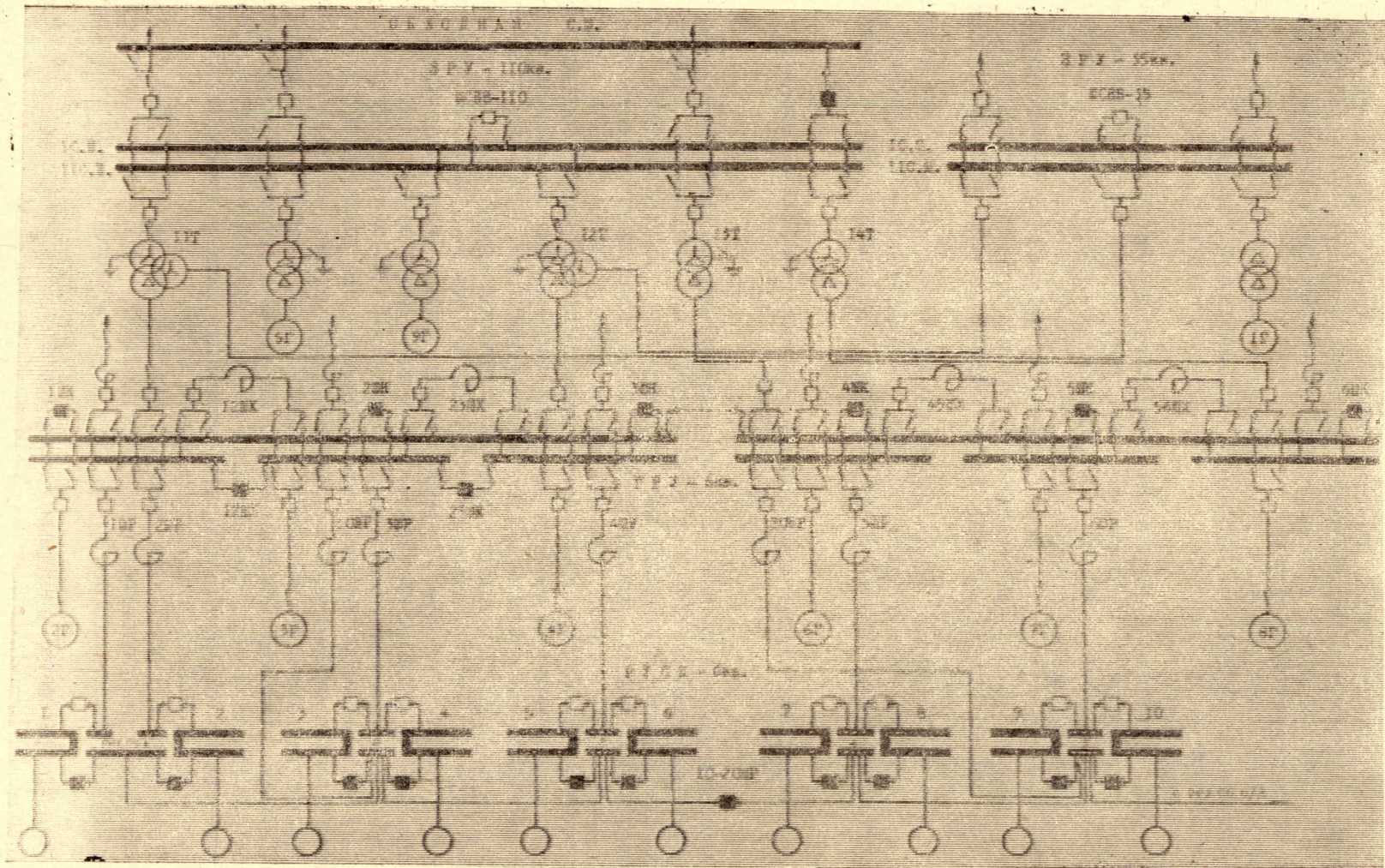


Рис. 1. Схема электрических соединений электростепени.

По работе тепломеханического оборудования вторая очередь не связана с первой, но по электрической схеме на напряжении 110 и 35 кВ и напряжении собственных нужд 6 кВ обе очереди работают совместно. Каждый из 4 блоков имеет отпайку на свою секцию собственных нужд, нагрузка которой при максимальной мощности блока, с учетом части нагрузки, приходящейся на две общестанционные секции, составляет 5 Мвт. 10 и 11 блоки имеют 3 обмоточные трансформаторы 110/35/6 кВ, 12 и 13 блоки передают мощность на шины 110 кВ. От 5 резервной сборки собственных нужд первой очереди шлейфы заходят на резервные сборки 6, 7, 8, второй очереди и коммутируются по такому же принципу, как и для первой очереди.

Электрические нагрузки

Первая очередь:

генерирующая мощность:	$7 \times 30 + 1 \times 25 + 1 \times 50 = 285$ Мвт
потребление на напряжении 6 кВ I-II-III сек. ГРУ-6 кВ II Мвт	
	IV-V-VI сек. ГРУ-6 кВ 15 Мвт
потребление на напряжении 35 кВ	50 Мвт
потребление собственными нуждами:	21 Мвт
потери в трансформаторах:	2,3 Мвт
выдача мощности в систему:	185 Мвт

Вторая очередь:

генерирующая мощность:	$3 \times 50 = 150$ Мвт
потребление собственными нуждами:	15 Мвт
потери в трансформаторах:	1,5 Мвт
выдача мощности в систему:	133,5 Мвт

Примечание: распределение нагрузок взято по фактическому графику осени 1963 г., но при отсутствии 4 блока, который предполагается ввести к концу 1964 г.

Варианты схем отделения собственных нужд и потребительских блоков

Существует большое разнообразие вариантов схем отделения. Не имея возможности давать характеристику каждому из наиболее подходящих вариантов, остановимся на выборе наилучшего для данной схемы электрических соединений и при этом учтем ряд факторов как-то: надежность питания, величину теряемой системой мощности, количество операций по переключению, структуру новой схемы, наличие резерва и т. д.

В этом отношении наиболее полным требованиям удовлетворяет вариант № 1, в соответствии с которым будет произведено описание работы схемы АДУ.

ВАРИАНТ № 1 представляет собой систему переключений, когда образуется электрически связанный блок, объединяющий нагрузку собственных нужд первой и второй очередей, потребительскую нагрузку всех шести секций ГРУ-6 кВ, потребительскую нагрузку, питающуюся с шин 35 кВ со всеми работающими генераторами на шинах 6 и 35 кВ.

При возникновении аварийного режима АДУ действует на:

1. Включение шиносоединительных выключателей 1 шк и 4 шк или 2 шк и 5 шк (первый этап предварительного деления).
2. Включение секционного выключателя 10—20 шр.

3. Включение 20 шр на секции 11, 12, 13, 14 (секции блоков второй очереди).

4. Отключение рабочих линий собственных нужд блоков как головными, так и выключателями на свою секцию 9 шр, 11 шр, 12 шр, 13 шр, (второй этап предварительного деления).

5. Отключение 11 т, 12 т, 13 т, 14 т со стороны 110 кв (третий этап — окончательное деление).

Этим вариантом предусматривается питание собственных нужд первой очереди и двух общестанционных секций второй очереди рабочими линиями, как и при нормальной схеме.

Секции блоков, питающиеся от отпаек своего блока, переключаются на питание от резервных линий 10 шр и 20 шр. Необходимость сохранения питания двух общестанционных секций собственных нужд второй очереди от рабочих линий 7 шр и 8 шр продиктована тем обстоятельством, что эти рабочие линии получают питание от 5 и 6 секций ГРУ-6 кв, которые при данном варианте не имеют связи с напряжением 110 кв.

ДОСТОИНСТВА. 1. Надежное обеспечение питания собственных нужд первой и второй очередей всеми работающими генераторами ГРУ-6 кв.

2. Сохранение АВР на шинах собственных нужд.

3. Надежное обеспечение питания особо ответственных потребителей по линиям 35 и 6 кв.

4. Меньшее количество операций с выключателями, чем в других вариантах.

5. Малая вероятность несинхронных включений (выключатели трансформаторов 11 т, 12 т, 13 т, 14 т со стороны 110 кв и выключатели рабочих линий собственных нужд второй очереди).

НЕДОСТАТКИ. 1. Необходимость уменьшения выдачи мощности в систему, что ставит ее в еще более тяжелые условия.

В этом случае при общей генерирующей мощности первой очереди 285 Мвт (генераторы на водородном охлаждении) выдача мощности в систему составит 75 Мвт.

Общее потребление мощности собственными нуждами первой очереди и потребительской нагрузкой, питающейся с шин 6 и 35 кв в нормальном режиме равно 100 Мвт, тогда дефицит мощности в системе будет составлять 110 Мвт.

2. Увеличенный, по сравнению с номинальным, переток мощности по кабельной перемычке от 5 резервной сборки до 8. Этот переток составляет при общей потребляемой мощности собственными нуждами второй очереди при ее полном развитии, за вычетом нагрузки 2 общестанционных секций, питающихся по нормальной схеме, 1500 а. Средневзвешенный $\cos \varphi$ на собственных нуждах второй очереди выше, чем первой и составляет 0,85. В этом случае перегрузка кабелей резервной линии собственных нужд 20 шр будет 150%. Однако учитывая возможность перегрузки кабелей напряжением 6—10 кв до 30% и принимая во внимание кратковременность такого режима и исключительную редкость, можно допустить такой перегруз. Кроме того, при существующих котлоагрегатах высокого давления ТП-82 выявляется неизбежность сравнительно частого ремонта или чистки поверхностей нагрева, поэтому практически из 4 существующих блоков при полном развитии второй очереди один из них должен быть остановлен и тогда величина нагрузки собственных нужд сократится на 25%, а это поведет к уменьшению перетока до 1100 а.

Что касается потери мощности энергосистемой при делении, то необходимо принять во внимание следующий немаловажный фактор. Другие варианты, кроме рассматриваемого, не дают возможности сохранить в работе собственные нужды второй очереди при аварийном режиме и от этого энергосистема теряет мощность 133,5 Мвт, что превышает потерю мощности от первой очереди (133,5 Мвт против 110 Мвт). Сущность другого варианта состоит в том, что для питания собственных нужд выделяется 4 секции ГРУ-6 кв вместе с генератором № 6 и линиями 5 шр и 20 шр. В этом случае включением выключателей от резервных сборок собственных нужд и отключением рабочих линий, кроме 5 шр, осуществляется перевод питания собственных нужд от генератора № 6, а отключением 13 т и 45 шх — отделение от остальной схемы. Может иметь место вариант, при котором заблаговременно собирается схема резервных линий 10 шр и 20 шр с несколькими из генераторами левого или правого крыла ГРУ-6 кв на резервную систему шин. При включении выключателей от резервных сборок собственных нужд и отключении рабочих линий собственные нужды переводятся на питание от выделяемых генераторов, а отключением шиносоединительного выключателя той секции, на которой находится генератор, производится отделение собственных нужд от остальной схемы. Оба варианта предусматривают собой выделение в самостоятельный блок нагрузку шин 35 кв. Для этого достаточно отключить один из трансформаторов 11 т или 12 т со стороны 35 кв, а другой со стороны 110 кв с одновременным разделением секций ГРУ-6 кв 12 шх или 23 шх.

На примере исследуемой ТЭЦ рассмотрен один вариант схемы отделения и дано краткое содержание двух других вариантов. Для электростанций, имеющих другую схему, следует проводить подобный анализ и выделять лучший вариант, к которому и применять автоматическое делительное устройство.

Схема автоматического делительного устройства

Большое разнообразие схем электрических соединений электростанций должно в значительной степени определять собой замыслы и конструктивные особенности АДУ.

Не имея представления о схемах АДУ других энергосистем остановимся на описании схемы с моторным реле времени в программном устройстве (схема автора).

Можно устройство разделить на три основных органа:

1. Пусковой орган, реагирующий на частоту в системе и давление в питательной магистрали.
2. Программное устройство, обеспечивающее избирательность включаемых и отключаемых объектов схемы электрических соединений.
3. Цепи сигнализации, оповещающие о наличии ненормальных режимов работы и неисправности основных цепей АДУ.

На рис. 2 представлена развернутая схема соединений АДУ применительно, к первому варианту, хотя она может быть применима к любому из них. В этом случае требуется добавить в схему несколько выходных промежуточных реле и накладок.

Пусковой орган состоит из 2 каскадов частотных реле, настроенных на разные уставки. Их значения определяются расчетом. Реле понижения частоты питаются от вторичных цепей трансформаторов напряжения I или II систем шин ЗРУ-110 кв. Выбор напряжения от систем шин производится переключателем ПУ.

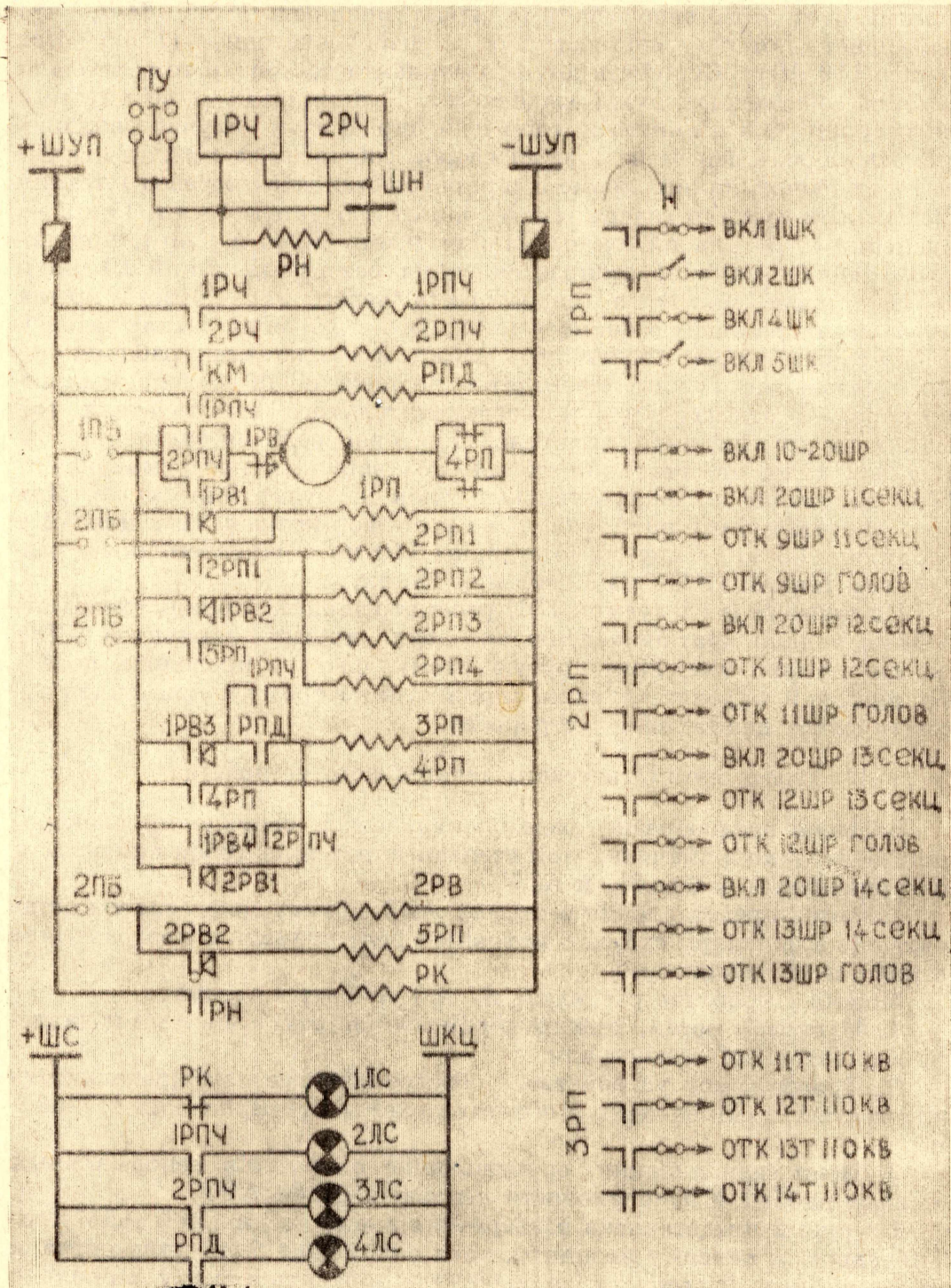


Рис. 2. Схема автоматического делительного устройства.

ИВЧ-ОПА, примененные в схеме, должны быть отрегулированы таким образом, чтобы возврат реле происходил при частоте большей частоты срабатывания на 0,3—0,5 гц.

Увеличение значения частоты возврата достигается уменьшением активного сопротивления второго контура [2 стр. 79]. Тогда при колебании частоты в сторону ее повышения на 0,3—0,5 гц контактная система будет надежно замкнутой. Если же частота увеличится на величину, большую частоты возврата, то отпускание контактов реле I каскада и возвращение его в исходное положение будет резервировано селективной работой II каскада с большей выдержкой времени, реле частоты которого будет держать устойчивый импульс.

Для предотвращения ложных срабатываний реле ИВЧ-ОПА при включении его под напряжение толчком или при резких колебаниях напряжения в цепи контактов 1РЧ и 2РЧ применено промежуточное реле типа РП-251, имеющее регулируемую выдержку времени на срабатывание в пределах $0,07 \div 0,12$ сек.

Пусковой орган может также получать импульс на срабатывание от контактного манометра КМ, реагирующего на уменьшение давления в питательной магистрали ниже 120 ати. Основным элементом программного устройства является моторное реле времени постоянного тока Е-513 с пределом уставок от $6 \div 60$ сек [3 стр. 96]. Один нормально закрытый контакт служит для отключения двигателя после отработки всех контактных цепей реле. По условиям кинематики выдержка времени этого контакта должна быть больше времени максимальной уставки реле на 0,5 сек. Как известно, реле, работающие на размыкание контактов, находятся в более тяжелых условиях, с точки зрения контактной системы, и схемы с такими контактами обладают ненадежностью. Поэтому четыре нормально закрытые контакты реле с выдержкой времени должны быть переделаны на нормально открытые.

В цепях контактов реле времени для размножения выходных цепей применены промежуточные реле типа РП-23 с четырьмя нормально открытыми контактами и одним нормально закрытым. При потребляемой мощности реле 6 вт и мощности контактов Е-513 и реле РП-23 50 вт при необходимости можно параллельно включить до восьми таких реле.

Выходные цепи программного устройства содержат в себе контакты выходных промежуточных реле и накладки, смонтированные на панели. При помощи накладок задается схема отделения собственных нужд и отдельных потребительских блоков. Эти цепи связаны с цепями управления выключателей.

Включение схемы АДУ производится переключателем ШВ, имеющим два положения: «автом. пуск» и отключено. Для экстренного ручного запуска схемы с минимальной выдержкой времени, не превышающей 4 сек., предусмотрено реле времени 2РВ, в цепи проскальзывающего контакта которого включено промежуточное реле 5РП, имеющее задержку на возврат до 1 сек. (реле типа РП-252). Пуск АДУ вручную осуществляется поворотом рукоятки ключа 2ПБ в положение «ручной пуск».

Сигнализация контролирует исправность цепей переменного тока от трансформаторов напряжения ЗРУ-110 кВ до частотных реле и цепей постоянного тока (1ЛС), оповещает о пуске АДУ от I каскада (2ЛС), II каскада (3ЛС) и о понижении давления в питательной магистрали ниже 120 ати (4ЛС).

РАБОТА СХЕМЫ. При понижении частоты ниже уставок пусковых органов оживляются одно или оба частотных реле, замыкая свои контакты 2РЧ или 2РЧ и 1РЧ. В этом случае срабатывает промежуточное реле 2РПЧ или происходит одновременное срабатывание 1РПЧ и 2РПЧ. Замыкается цепь реле времени: +ШУП, контакты 1ПБ, контакты 1РПЧ (2РПЧ), — ШУП. При подаче напряжения на электродвигатель и электромагнит реле времени приходит в действие и замыкает контакты с различной выдержкой времени. Контакт 1РВ1 замыкается с минимально возможной выдержкой — 6 сек., контакт 1РВ2 — через 16 сек. (о величине этой уставки будет сказано ниже), контакты 1РВ3 и 1РВ4 замыкаются соответственно через 18 сек. и 60 сек. (уставки по времени I и II каскада, определенные расчетом). При работе реле 1РП через его контакты подается импульс на включение каких-либо двух шиносоединительных выключателей левого и правого крыла ГРУ-6 кв. Предварительное включение 2 ШСМВ вызвано следующим обстоятельством: включением секций левого и правого крыла через резервную систему шин достигается их синхронная работа, когда по условию деления на последнем этапе отключаются выключатели трансформаторов 11 т, 12 т, 13 т, 14 т со стороны 110 кв. Вот почему, несмотря на нежелательность «жесткой» работы генераторов ГРУ-6 кв, следует включать ШСМВ кратковременно, обеспечив тем самым нормальные операции по делению схемы. При замыкании контакта реле 1РВ2 срабатывают выходные промежуточные реле 2РП1, 2РП2, 2РП3, 2РП4 и происходит включение секционного выключателя 10—20 шр, включение выключателей секций блоков второй очереди ТЭЦ на резервное питание от 10 шр и 20 шр и отключение рабочего питания (отпаек) блоков. Для обеспечения законченности процесса одним из контактов реле (2РП1) производится самоподпитка. В том случае, если реле времени 1РВ обесточится, вследствие повышения частоты, то импульс не будет подан на промежуточное реле, а уставка реле времени 16 сек., близкая к уставке по времени I каскада, способствует окончанию предварительного деления как можно ближе по времени с заключительным делением схемы. В самом деле, если бы уставка по времени была меньше, положим 10 сек., то при повышении частоты и обесточении 1РВ импульс будет подан и деление во втором этапе произойдет, хотя необходимости в этом нет, так как нарушение режима восстановится от повышения частоты.

От замыкания контакта 1РВ3 через время, определяемое уставкой I каскада (18 сек.) приходят в действие промежуточные реле 3РП и 4РП. Одно из них (3РП) подает импульс на отключение выключателей трансформаторов 11 т, 12 т, 13 т, 14 т, со стороны 110 кв, а другое — замыканием контакта 4РП обеспечивает самоподпитку для законченности процесса. Наличие блокировочных контактов в этой цепи 1РПЧ и РПД необходимо для запрещения работы I каскада при снижении частоты, вызывающей работу только второго каскада. При замыкании контакта 1РВ4 процесс протекает аналогично предыдущему, но с той лишь разницей, что окончательное деление схемы произойдет через 60 сек. от начала подачи командного импульса. Последовательно включенный контакт 2РПЧ имеет такой же смысл, как и 1РПЧ, только при наличии III каскада. В случае необходимости ручного пуска схемы АДУ достаточно переключатель 2ПБ поставить в положение «ручной пуск», тогда при мгновенном срабатывании 1РП произойдет первый этап предварительного деления. Работа реле времени 2РВ приводит к оживлению промежуточное реле

ЗРП через проскальзывающий контакт 2РВ2, которое, имея выдержку времени на возврат, подаст импульс на промежуточные реле 2РП по продолжительности больший, чем время срабатывания 2РП.

Основным контактом 2РВ1 с выдержкой времени 3 сек. замыкается цепь промежуточного реле ЗРП и тем самым осуществляется процесс окончательного деления схемы. Для предотвращения повторного запуска схемы АДУ в случае устойчивого замыкания контактов частотных реле последовательно в цепи электродвигателя реле времени включены спаренные, для надежности, нормально замкнутые контакты промежуточного реле 4РП. Подготовка к дальнейшей работе схемы АДУ производится размыканием цепи переключателем 1ПБ с последующей его постановкой в положении «автом. пуск».

Кроме частотного пуска схема предусматривает контроль по величине давления в питательной магистрали. При понижении давления ниже 120 *ати* замыкается контакт манометра КМ и срабатывает промежуточное реле РПД, контакты которого, с одной стороны, шунтируют контакт 1РПЧ, подавая импульс на промежуточное реле ЗРП при условии, что реле времени приходит в действие от замыкания контакта 2РПЧ, а с другой стороны, включают табло сигнализации, предупреждая обслуживающий персонал о понижении давления.

При такой схеме, когда реле времени запускается от второго каскада, окончательное деление может произойти при любой выдержке времени от 18 до 60 сек., которая зависит от степени снижения давления в питательной магистрали. Ложная работа АДУ при засорении импульсных трубок контактного манометра или перекрытия их вентилем при этом исключается, так как импульс может быть подан только при замкнутом контакте 1РВ3, а для этого требуется работа реле времени от понижения частоты.

Разделение операции на три этапа вызвано не только технологической необходимостью работы схемы, но и создает условие нормальной работы аккумуляторной батареи.

Достоинства схемы АДУ

1. **Надежность.** Схема исключает большое количество цепей и контактов и, кроме этого, позволяет резервировать I каскад селективной работой II каскада и импульсом от понижения давления. Наличие элементов схемы, работающих на постоянном токе, делают ее надежной и по условию питания.

2. **Простота и компактность.** В схеме применено минимально возможное количество аппаратуры и сравнительно дешевой. Монтаж уместается на одной типовой панели защиты или может быть выполнен на свободных местах других панелей. Для сокращения кабельных перемычек до выходных цепей выключателей целесообразно панель установить вблизи панелей собственных нужд.

3. **Универсальность.** Схема практически приемлема для любого варианта деления при небольших добавлениях и имеет ручной пуск. Выходные цепи АДУ можно выполнить для всех выключателей, которые могут участвовать в делении.

Недостатки схемы АДУ

1. Схема не может быть автоматически пущена при снижении частоты до уставки второго каскада 47,5 *гц* (наличие мертвой зоны). В этом случае требуется ручной пуск, если режим длительно не вос-

становивается, а это бывает не всегда возможным и своевременно выполнимым.

ВЫВОДЫ

Рассматривая причины, побуждающие применять АДУ на тепловых электростанциях и анализируя схему, можно сделать следующие выводы:

1. АДУ, обеспечивая автоматический запуск, предотвращает расстройство работы собственных нужд как при снижении частоты, вызванной дефицитом активной мощности, так и вследствие нарушения устойчивости параллельной работы энергосистем, и поэтому является эффективным противоаварийным мероприятием.

2. АДУ следует применять на электростанциях высокого давления, особенно базовых, входящих в энергосистему со слабыми межсистемными связями. Большую необходимость в применении АДУ вызывают электростанции с блочными схемами, где процессы, протекающие в тепломеханическом оборудовании более чувствительны к снижению частоты и напряжения.

3. Работа АДУ эффективна только тогда, когда ее пуск определяется уставками по частоте, напряжению и времени, полученными в результате совместного расчета режимов работы электрической схемы и тепломеханического оборудования. В этом случае не может быть запаздывания работы АДУ и исключаются неоправданные запуски.

4. Относительная простота схемы делает ее доступной как по стоимости, так и по условиям монтажа к применению на любой электростанции, где есть в ней необходимость.

5. Становится желательным обсуждение в печати схем АДУ, которое выявит наиболее подходящие варианты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баркан Я. Д., Бояревич В. Я., Против применения делительных защит на электростанциях. «Электрические станции», № 10 1956.
2. Барзам А. Б., Системная автоматика, Госэнергоиздат, 1958.
3. Кукуевицкий, Л. И., Крупницкий А. Ю., Саков А. Д., Справочник реле защиты и автоматики, Госэнергоиздат, 1962.