

EP 6.7

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Серия А

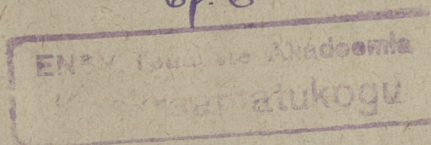
№ 66

1955

С. Р. БУАЧИДЗЕ

**ПОЛНОСТЬЮ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ
ГИДРОСТАНЦИИ С ЗАРЕГУЛИРОВАННЫМ СТОКОМ**

EP. 6



ЭСТОНСКОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТАЛЛИН 1955

В работе рассматривается проблема полной автоматизации ГЭС с зарегулированным стоком. Даются схемы автоматики для работы ГЭС по графику, по водотоку и регулирующей частоту или напряжение станцией, с ограничением мощностей при низких уровнях водохранилища. Описываются автоматический перевод, в случае необходимости, агрегатов в режим реактивного генератора и ускоренный запуск машин при снижении частоты. Рассмотрены аварийные режимы работы ГЭС: автоматика обеспечивает корректировку режима работы ГЭС при распаде системы или же самой станции на части.

ВВЕДЕНИЕ. ЦЕЛЬ РАБОТЫ¹

Техника автоматизации гидростанций на сегодняшний день выглядит следующим образом: ГЭС, работающие по водотоку или же по заданному графику нагрузки, автоматизируются полностью, а ГЭС, регулирующие частоту, автоматизируются лишь частично; в последнем случае импульсы на запуск, остановку или же регулирование нагрузки агрегатов подаются или местным персоналом, или же с пункта дальнеуправления, например, с диспетчерского пункта системы.

Последнее решение является наиболее совершенным. Однако управление станцией с диспетчерского пункта имеет следующие недостатки: 1) диспетчер перегружается этой работой и вероятность неправильных действий с его стороны соответственно возрастает; 2) требуется определенное время, исчисляемое секундами и даже минутами «для обдумывания» диспетчером каждой операции по управлению станцией и 3) для посылки с пункта управления на станцию каждого телеимпульса измерения, сигнализации или управления также требуется время, порядка нескольких секунд. С этими недостатками особенно приходится считаться в аварийных условиях работы станции, или системы в целом.

Указанные недостатки будут устранены только при полной автоматизации ГЭС, т. е. при независимой работе станционных устройств, без ежеминутного оперативного вмешательства со стороны диспетчера.

Целью настоящей работы является выявление основных моментов в проблеме полной автоматизации ГЭС с заре-

¹ Работа была готова к печати в начале 1953 года. Однако, по независящим от автора причинам, ее появление в свет задержалось.

гулированным стоком, с учетом всех возможных режимов ее работы, в том числе в качестве станции, принимающей участие в регулировании частоты, и начертание основных элементов соответствующих схем автоматики.

Указанные схемы и описанные устройства имеют лишь только принципиально-пояснительный характер; они должны быть взяты за основу при составлении соответствующих исполнительных схем и разработке конструкции потребной аппаратуры.

Очевидно, что построение рациональных схем полностью автоматизированных ГЭС с зарегулированным стоком, без учета всех возможных режимов работы системы и взаимосвязи с системной автоматикой, невозможно. Именно под этим углом зрения строились нами в данной работе соответствующие схемы автоматики.

I ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЖИМНАЯ ДИАГРАММА

В основу дальнейших рассуждений положим схему автоматики [Л-1], в которой импульсы от соответствующих автооператоров поступают к «ведущему агрегату», а нагрузка «ведомых машин» регулируется автоматически, пропорционально нагрузке ведущего агрегата. Первым, от автооператора, запускается ведущий агрегат и затем, по мере надобности, очередные, ведомые машины; остановка — в обратном порядке. Запуск очередного агрегата производится от максимального токового реле, при достижении на работающих машинах заданной максимальной нагрузки, например, 0,7 номинальной мощности машин², а остановка — от минимального токового реле, при спаде суммарного тока нагрузки работающих машин до заданной минимальной величины. В случае отключения ведущей машины ее функции автоматически передаются следующей, очередной машине³.

Отключение, согласно указанной схеме (рис. 1 [Л-1]),

² Величина максимального вращающегося резерва станции может быть установлена по желанию, посредством регулирования уставки максимальных токовых реле, управляющихся запуском очередных агрегатов.

³ Можно, конечно, применить, вместо указанной схемы с ведущим агрегатом, схемы с пропорциональной подачей импульсов всем работающим машинам.

очередных машин производится «толчком». Такое отключение недопустимо для мощных агрегатов; оно может вызвать сильные толчки нагрузки на работающих машинах и даже колебания напряжения и частоты в системе.

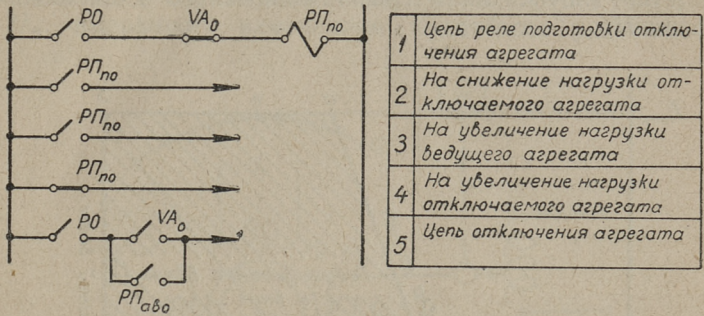


Рис. 1.

В данном случае автоматическое отключение агрегата можно провести следующим образом (рис. 1): при срабатывании реле PO остановки агрегата (Л-1), через нормально замкнутый контакт VA_0 реле нулевой мощности посылается импульс на реле $PП_{но}$ разгрузки (цепь 1); сработавшее реле $PП_{но}$ посылает одновременно импульсы, с одной стороны на медленное закрытие подлежащей отключению турбины и снижение возбуждения генератора (цепь 2) и с другой — на соответствующее пропорциональное открытие ведущей турбины (цепь 3); своим третьим контактом это реле разрывает цепь импульсов на увеличение нагрузки данной турбины и увеличение возбуждения ее генератора (цепь 4); в тот момент, когда нагрузка будет полностью снята с отключаемого агрегата и передана остальным машинам, сработает реле VA_0 и замыканием своего контакта в цепи 5 разрешит отключение агрегата, а размыканием второго контакта в цепи 1 обесточит реле $PП_{но}$.

Но описанная медленная разгрузка отключаемого агрегата нежелательна в аварийных случаях чрезмерного повышения величины регулируемого параметра, например, частоты. В этом случае реле $PП_{аво}$, фиксирующее чрезмерное повышение указанного параметра, сработает и зашунтирует контакт VA_0 (цепь 5); в результате агрегат отключится толчком.

ГЭС, работающая по заданному графику активной нагрузки или же принимающая участие в регулировании частоты, должна, при малых горизонтах водохранилища, автоматически переводиться в специальный режим работы, не допускающий срыва минимально допустимого уровня H_{min} бассейна.

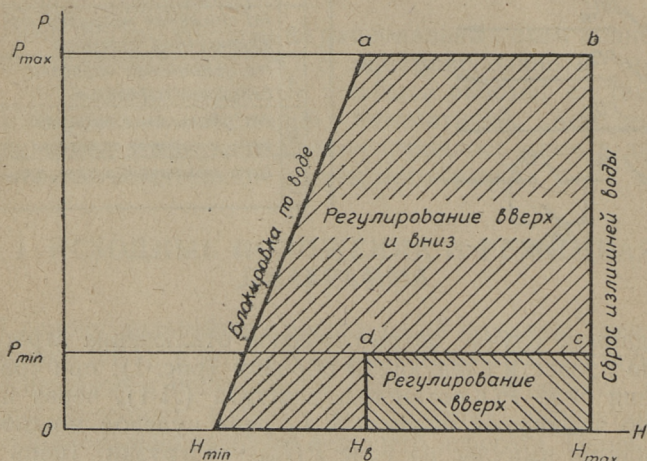


Рис. 2.

Соответствующая режимная диаграмма представлена на рис. 2. При сниженных горизонтах бассейна, между H_b и H_{min} , имеет место ограничение максимальной допустимой нагрузки станции. Сверху рабочая площадь ограничивается линией максимальной располагаемой мощности P_{max} станции и справа — линией максимального уровня H_{max} бассейна.

При снижении уровня до заданной величины H_b действует специальное устройство $ОМВ$ ограничения, в функции уровня H , величины максимально-допустимой нагрузки станции, имеющее статическую характеристику $P = f(H)$ (на рисунке линия $H_{min}a$). Таким устройством может быть, например, дифференциальное реле, принцип работы которого показан на рис. 3. К реле подводятся, с одной стороны напряжение U_n , пропорциональное уровню воды, которое создает на роторе реле момент M_H и, с другой

стороны напряжения $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$, пропорциональные номинальным мощностям работающих агрегатов, которые создают соответствующие моменты $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$, действующие в противоположную моменту M_H сторону. При изменении U_H , вызванном изменением уровня, или же в случае изменения суммы $U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$, вызванного изменением количества работающих

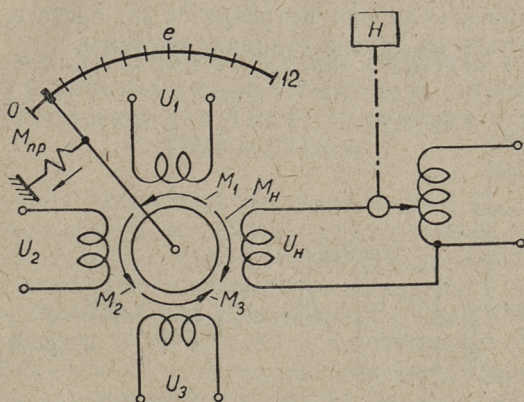


Рис. 3.

агрегатов, равновесие соответствующих моментов и момента M_{np} пружины нарушится. Сработавшее реле, при повороте его ротора, передаст импульс на соответствующее изменение положения ограничителя открытия ведущей турбины посредством, например, сельсинов.

В случае станции, имеющей агрегаты одинаковой мощности, достаточно иметь одно реле $ОМВ$. При автоматической передаче функций ведущей машины с одного агрегата на другой [Л-1] реле $ОМВ$ должно также автоматически переключаться на последний агрегат.

В случае станции с агрегатами разной мощности необходимо снабдить каждую из машин соответствующим, отдельным комплектом $ОМВ$, входящим в действие при работе данной машины в качестве ведущей.

Очевидно, что остановка, даже кратковременная, всех агрегатов регулирующей частоту станции нежелательна. Во избежание указанного на ведущем агрегате можно

установить устройство ОММ ограничения мощности до минимально допустимой заданной величины P_{min} . Это устройство будет приводить в соответствующее положение специальный ограничитель закрытия турбины. Но при этом импульсы на повышение нагрузки агрегата не блокируются, т. е. остается только регулирование вверх (площадь H_b с H_{max} диаграммы). В данном случае регулирование вниз, если оно потребуется по частоте, должно производиться на других станциях системы.

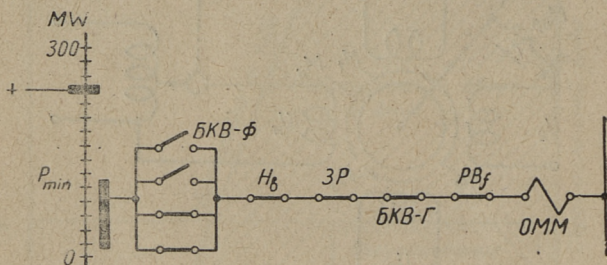


Рис. 4.

Цепь срабатывания ОММ блокируется, и ограничитель закрытия турбины отводится в положение, разрешающее полное закрытие турбины в следующих случаях (рис. 4): 1) при отключении всех фидеров станции (все контакты БКВ-Ф размыкаются); 2) при снижении уровня воды до величины H_b (рис. 2) размыкается контакт H_b ; 3) при срабатывании защиты от разгона (размыкается контакт ЗР); 4) в случае отключения выключателя генератора (размыкается контакт БКВ-Г) и 5) в случае длительного повышения частоты; срабатывает соответствующее реле времени (размыкается контакт — PV_f).

Со снижением уставки мощности P_{min} уменьшается риск повышения частоты при резком сбросе нагрузки, получившемся, например, в результате аварийного отделения от системы данной станции со своей сетью. Но, с другой стороны, длительная работа машины с малой нагрузкой может оказаться нежелательной, например,

из-за кавитации. Уставка P_{min} должна выбираться с учетом указанных моментов.⁴

Считаясь со спецификой запуска машин в режиме реактивного генератора⁵, необходимо иметь также отдельную схему автоматического запуска и остановки в таком режиме, построенную наподобие аналогичной схемы запуска и остановки агрегатов для режима работы открытой турбиной (рис. 1 [Л-1]).

II РАЗЛИЧНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ГЭС С ЗАРЕГУЛИРОВАННЫМ СТОКОМ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СООТВЕТСТВУЮЩИХ СХЕМ АВТОМАТИКИ

Упрощенная блок-схема показана на рис. 5.

Пять комплектов устройств регулирования обеспечивают автоматическую работу станции в различных режимах. Эти устройства воздействуют на ведущий агрегат.

Устройство № 1 будет обеспечивать работу ГЭС на заданный уровень H , т. е. работу по водотоку. При этом регулирование возбуждения, по желанию, может быть выполнено автоматикой по одному из трех возможных методов: 1) астатическое (A) регулирование напряжения (U); 2) статическое (C) регулирование (U) и 3) регулирование на неизменный $\cos \varphi$.

Устройство № 2 обеспечит работу ГЭС в режиме регулирующей частоты (f) с астатическим или же со статическим регулированием напряжения.

Устройство № 3 регулирует активную нагрузку P_a станции по заданному графику; регулирование возбуждения аналогично устройству № 1.

Устройство № 4 регулирует нагрузку ГЭС по заданным графикам активной P_a и реактивной P_r мощностей.

Устройство № 5 управляет станцией при ее работе в режиме синхронного компенсатора, с астатическим или же статическим регулированием напряжения.

⁴ Вместо указанного ограничителя закрытия можно установить также реле минимально допустимой мощности станции.

⁵ Мы будем говорить, что машина работает синхронным компенсатором только тогда, когда она регулируется от АРН (что не имеет места при работе машины для выдачи на шинь реактивной мощности по заданному графику нагрузки); это будет частный случай работы машины реактивным генератором.

Выбор режима работы производится режимным ключом PK .

В полной схеме количество регулирующих устройств и, соответственно, количество контактов режимного ключа, будут большими; например, устройство № 1, в зависимости от принятого способа регулирования возбуждения, распадается на три отдельных устройства.

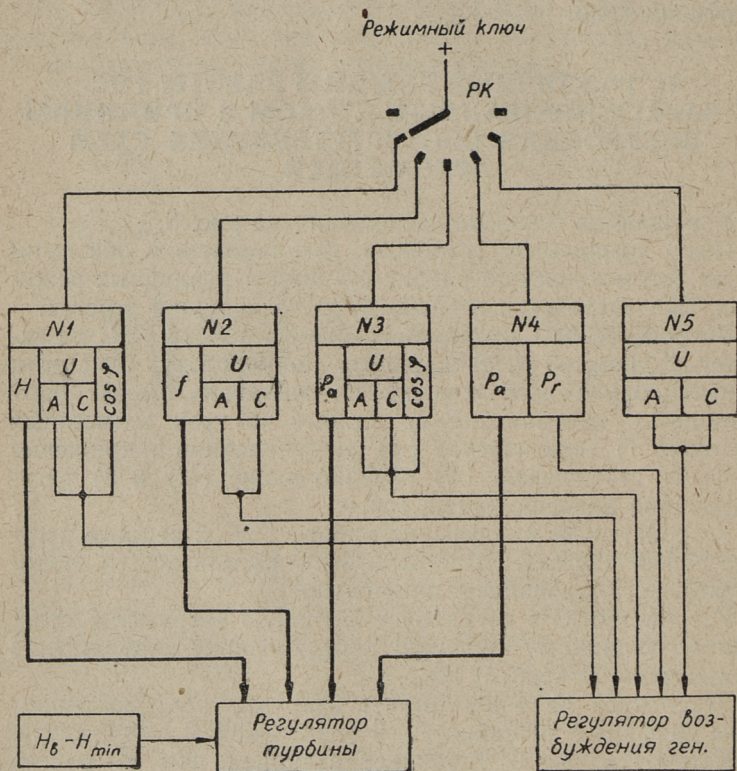


Рис. 5.

На схеме показан также ограничитель нагрузки ГЭС в функции уровня $H_b \div H_{min}$.

Укажем основные потребные элементы для соответствующих схем автоматики.

1. Работа ГЭС по заданному графику активной нагрузки (рис. 6).

а) Установочные реостаты АРН устанавливаются в определенном, фиксированном положении (статическое регулирование напряжения)⁶. Цепь управляющего ведущим агрегатом соответствующего режимного реле *РЗНА-1а* (цепь 1, рис. 6,б) замыкается от контакта *РК-1а* режимного ключа. Сработавшее реле *РЗНА-1а* запускает регулятор мощности по заданному графику.

б) Реле заданного напряжения, с целью поддержать напряжение неизменным (астатическое регулирование), дает регулирующие импульсы на перемещение характеристики АРН ведущего генератора параллельно самой себе. Импульсы поступают на сервомотор установочного реостата АРН.

Пропорциональное распределение суммарной реактивной нагрузки между работающими генераторами может выполняться посредством установки на ведомых машинах устройства регулирования установочных реостатов, аналогичного устройству распределения активной нагрузки (рис. 3 [Л-1]); величина каждого из подводимых к дифференциальному реле напряжений будет определяться положением установочного реостата АРН соответствующей машины.

Цепь режимного реле *РЗНА-1б* замыкается от контакта *РК-1б* ключа (цепь 2, рис. 6,б); реле запускает регулятор мощности и оживляет вышеуказанное устройство регулирования и распределения реактивной нагрузки.

в) ГЭС забирает реактивную нагрузку пропорционально ее активной нагрузке. Режимное реле *РЗНА-1в* (цепь 3, рис. 6,б) оживляет реле заданного $\cos \varphi$, которое воздействует на реостат АРН ведущего генератора. Соответственно устройство распределения реактивной мощности производит пропорциональное регулирование реостатов АРН ведомых генераторов.

⁶ В данном случае конечным звеном диаграммы пуска агрегата должна быть, после включения агрегата в сеть, операция перевода установочного реостата с положения холостого хода в заданное положение.

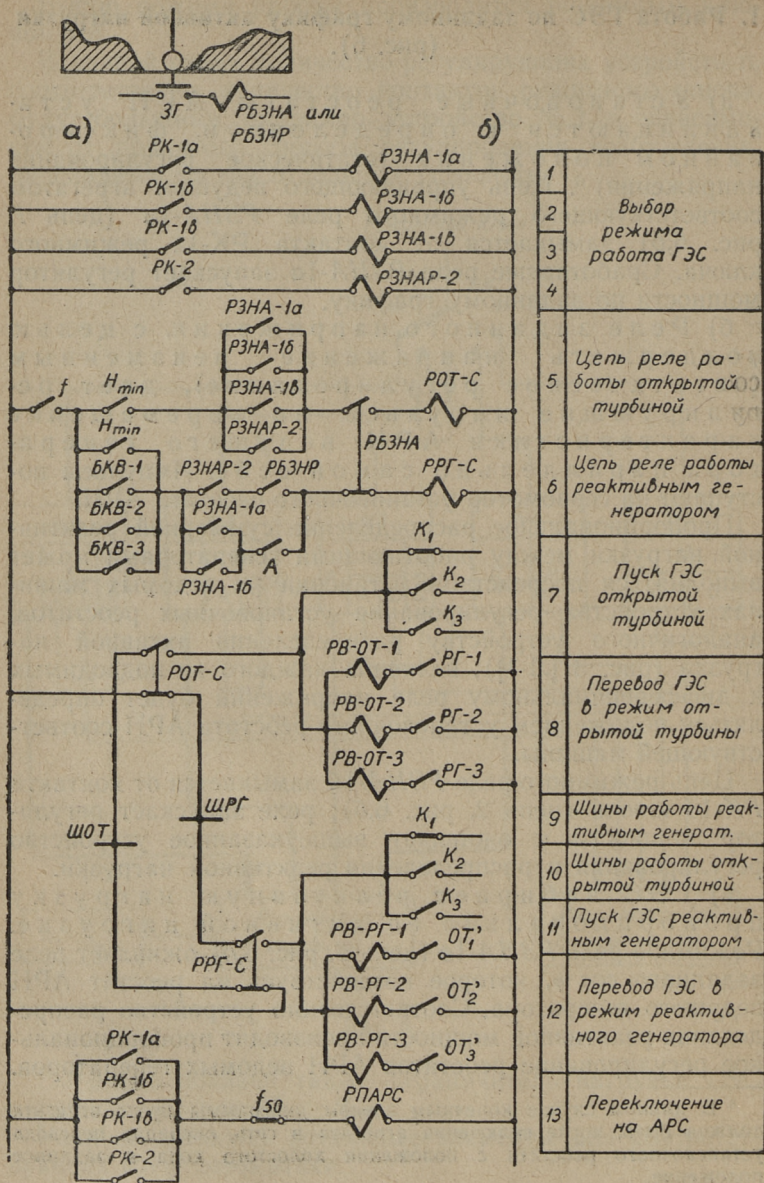


Рис. 6.

2. Работа ГЭС по заданным графикам как активной, так и реактивной мощности (рис. 6).

Режимное реле *РЗНАР-2* оживляется от контакта *РК-2* (цепь 4, рис. 6,б) и запускает регуляторы активной и реактивной нагрузки.

Последний регулятор будет давать импульсы на сервомотор установочного реостата АРН ведущего генератора, а нагрузка ведомых генераторов будет регулироваться вышеуказанным устройством распределения реактивной нагрузки.

В данном случае ведущий агрегат может быть запущен для работы в режиме открытой турбины регулятором заданной активной мощности и в режиме реактивного генератора — регулятором заданной реактивной мощности.

Станция запускается для работы по заданному графику только в том случае, если в рассматриваемый момент имеются в наличии горизонт воды не меньше H_{min} и напряжение на шинах (контакты реле напряжения или частоты f замкнуты), поддерживаемое другими, регулирующими станциями (цепи 5 и 6, рис. 6,б).

Реле *РОТ-С* работы станции в режиме открытой турбины (цепь 5, рис. 6,б) оживляется при срабатывании одного из четырех режимных реле *РЗН* и требовании набора нагрузки, идущего от регулятора заданной активной мощности. Последнее условие выполняется при замыкании контакта соответствующего реле *РБЗНА* (цепь 5); это реле, в свою очередь, управляется блок-контактом *ЗГ* регулирующего стержня регулятора мощности (рис. 6,а) (крайнее, нижнее положение стержня, при котором замыкаются контакты *ЗГ*, соответствует снижению требуемой регулятором нагрузки до нуля). Указанный контакт *РБЗНА* замыкается при обеспечении реле.

Сработавшее реле *РОТ-С* производит следующие операции: 1) если станция стоит, то ведущий агрегат запускается в режиме открытой турбины (цепь 7, рис. 6,б);⁷ импульсы на регулирование активной мощности этого агрегата поступают от регулятора заданного графика нагрузки через фильтр рисунка 2 [Л-1]; если же агрегаты уже работают реактивными генераторами (соответствующи-

⁷ Ключ *К* установлен на выбор ведущим агрегатом машины № 1.

щие контакты $РГ$ замкнуты), то оживляются соответствующие реле времени $РВ-ОТ$, которые переводят агрегаты в режим открытой турбины (цепь 8, рис. 6,б); 2) снимается положительный потенциал с шин $ШРГ$ запуска и остановки агрегатов в режиме реактивного генератора (цепь 9, рис. 6,б).⁸

Реле $РРГ-С$ работы станции в режиме реактивного генератора (цепь 6, рис. 6,б) оживляется при срабатывании реле $РЗНАР-2$ и реле $РБЗНР$ (это последнее управляется от блок-контакта регулирующего стержня регулятора заданной реактивной нагрузки) и при замкнутом контакте $РБЗНА$ в данной цепи, что указывает на отсутствие требования набора нагрузки со стороны регулятора активной мощности.⁹

Сработавшее реле $РРГ-С$ производит следующие операции: 1) если станция стоит, то ведущий агрегат запускается в режиме реактивного генератора (цепь 11, рис. 6,б); если же агрегаты, к моменту срабатывания реле $РРГ-С$, работали в режиме открытой турбины (контакты $ОТ'$ замкнуты), то оживляются соответствующие реле времени $РВ-РГ$, которые переводят агрегаты в режим реактивного генератора (цепь 12, рис. 6,б); 2) снимается положительный потенциал с шин $ШОТ$ запуска и остановки агрегатов в режиме открытой турбины (цепь 10, рис. 6,б).

Реле $РРГ-С$ (цепь 6) может обесточиться при падении уровня воды ниже величины H_{min} , что вызовет, в свою очередь, обесточение шин $ШРГ$. Указанное может помешать автоматике произвести, в случае надобности, перевод агрегатов в режим работы реактивного генератора. Во избежание указанного в цепь реле $РРГ$ вводятся контакты «включено» ($БКВ$) машин, которые шунтируют контакт H_{min} .

Кроме того, в случаях 1,а и 1,б машины могут продолжать отдавать реактивную мощность при снижении активной нагрузки до нуля. Необходимо в данном случае также обеспечить работу реле $РРГ$, которое должно перевести

⁸ К шинам $ШОТ$ подключается схема пуска и остановки очередных агрегатов в режиме открытой турбины; при этом цепь подачи импульса на запуск ведущего агрегата составляется в данном случае из цепи 7, рис. 6,б. Аналогично к шинам $ШРГ$ подключается схема пуска и остановки агрегатов, работающих в режиме реактивного генератора. Указанные схемы составляются согласно рис. 1 [Л-1].

⁹ Приоритет дается работе в режиме открытой турбины.

такие агрегаты в режим синхронного компенсатора. С этой целью цепь реле (цепь б) замыкается через контакт РЗНА-1а или РЗНА-1б, токового реле А, подтверждающего наличие нагрузки на ГЭС, и замкнутого контакта РБЗНА, подтверждающего отсутствие требования нагрузки со стороны регулятора активной мощности.

Во избежание посылки импульсов на запуск реактивными генераторами новых машин при уровнях, меньших чем H_{min} , необходимо ввести в цепи катушек пусковых реле РВП (рис. 1 [Л-1]) блок-контакты H_{min} .

В описанной схеме (рис. 6) во всех случаях, кроме случая 1,в (работа с заданным $\cos \varphi$), может иметь место работа агрегатов с малой загрузкой по активной мощности, при сравнительно большой реактивной нагрузке. Такой режим работы может стать нежелательным из-за соображений к. п. д.

Указанный недостаток можно устранить посредством внесения в схему нижеописанных изменений и дополнений, обеспечивающих в таких случаях перевод части работающих машин в режим реактивного генератора, и увеличение, таким образом, активной нагрузки остальных агрегатов.

В данном случае продолжающие работать с открытой турбиной генераторы переключаются на режим неизменного $\cos \varphi$, а регулирующие по графику реактивную мощность регуляторы будут воздействовать на машины, работающие реактивными генераторами. Следовательно, необходимо иметь два фильтра импульсов на регулирование реактивной мощности: один для ведущего агрегата с открытой турбиной, пропускающий импульсы от реле $\cos \varphi$ ¹⁰ и другой, для ведущего реактивного генератора, пропускающий в случае 1,б импульсы от реле заданного напряжения и в случае 2 — от регулятора заданной реактивной нагрузки. Реактивный фильтр не требуется в случае 1,а (каждый реактивный генератор регулируется своим АРН, имеющим неподвижную статическую характеристику).

Для выполнения таких фильтров можно использовать

¹⁰ Можно, конечно, применить также на каждом агрегате в отдельности устройство, которое, при изменении открытия турбины, будет воздействовать в соответствующую сторону на положение установочного реостата АРН. В данном случае надобность в указанном фильтре отпадает.

схему рис. 2 [Л-1] или же схему рис. 7 настоящей работы, которая имеет меньшее количество контактов: при этом, вместо контактов *БКВ* и *БКО* выключателей, в фильтры ведущего агрегата с открытой турбиной и ведущего реактивного генератора вводятся контакты реле *OT'* работы агрегата с открытой и *OT''* с закрытой турбиной.¹¹

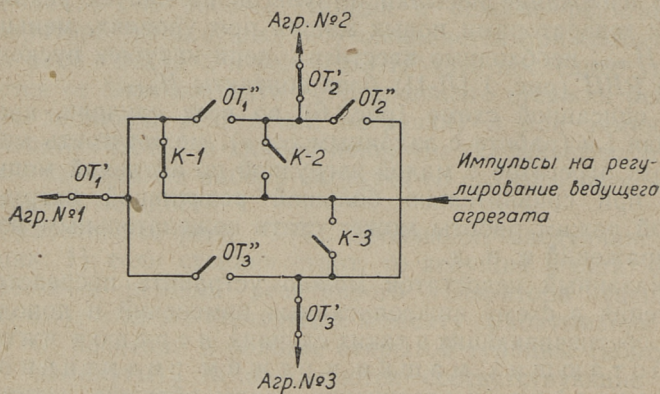


Рис. 7.

Для регулирования нагрузки ведомых агрегатов можно применить схему рис. 3 [Л-1], с введением вместо контактов *БКВ* и *БКО* соответствующих контактов *OT'* и *OT''*; одно такое устройство будет регулировать ведомые машины с открытой турбиной, а второе — машины с закрытой турбиной. Последнее устройство не требуется в случае 1,а.

Схема перевода машин в режим реактивного генератора для трехагрегатной станции, дополняющая собой схему рис. 6, показана на рис. 8.

Реле *W* минимальной активной мощности при срабатывании замыкает цепь соответствующих реле времени *РВРГ* перевода машины в режим реактивного генератора через фильтр, состоящий из контактов *К* ключа выбора

¹¹ Контакт *OT'* замыкается при включенном выключателе и открытой турбине, а *OT''* — при включенном выключателе и закрытой турбине.

На рис. 6 все три агрегата показаны работающими с открытой турбиной.

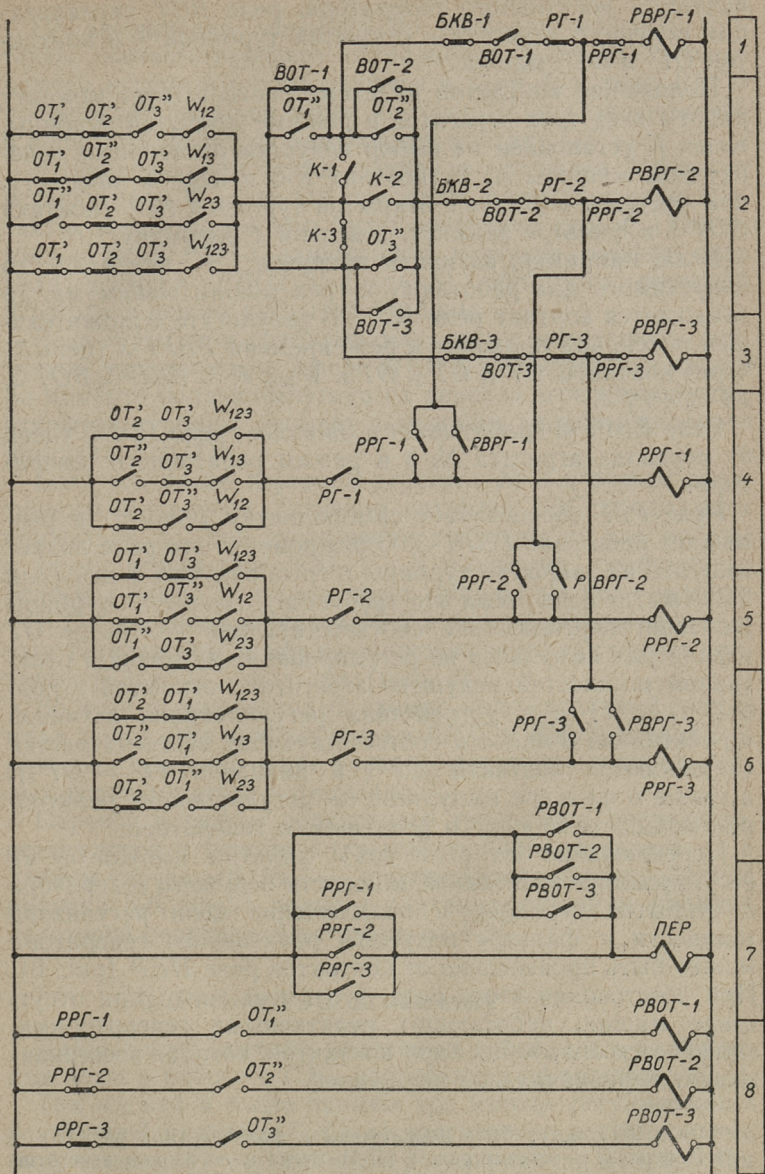


Рис. 8.

ведущего реактивного генератора, реле *ВОТ* сигнализации ведущего агрегата с открытой турбиной¹² и контактов *ОТ'* и *ОТ''* машин.¹³

Положение контактов на схеме соответствует моменту работы всех трех агрегатов в режиме открытой турбины. Ключ *К* установлен на выбор ведущим реактивным генератором машины № 3 (контакт *К-3* в цепи 2 замкнут), при ведущем агрегате с открытой турбиной № 1 (контакт *ВОТ-1* в фильтре замкнут, а в цепи 1 разомкнут).

Если, например, активная нагрузка ГЭС снизилась до допустимого для работающих трех машин минимума, то замыкается контакт реле W_{123} . В результате положительный потенциал проходит к реле времени *РВРГ-3* (цепь 3) через контакты *ОТ'*₁, *ОТ'*₂, *ОТ'*₃, W_{123} , *К-3*, *БКВ-3*, *ВОТ-3*, *РГ-3*, *РРГ-3*.

Реле *РВРГ-3* срабатывает и оживляет реле *РРГ-3* (цепь б) перевода агрегата № 3 в режим реактивного генератора.

Реле *РРГ* обеспечивает самоподпитку (цепь б) и замыкает цепь реле *РВРГ-3*. Одновременно это реле подает импульс на закрытие турбины и срыв вакуума в ней (или же отжатие воды, если это требуется). Закрытие турбины вызывает переключение соответствующих контактов *ОТ* в фильтрах импульсов на регулирование активной и реактивной мощностей ведущего агрегата с открытой турбиной (рис. 7) и в устройствах регулирования активной и реактивной мощности соответствующих ведомых машин (замыкаются контакты *ОТ''*₃ и размыкаются — *ОТ'*₃), а также в фильтре импульсов на регулирование реактивной мощности ведущего реактивного генератора.

Переключение на реле $\cos \varphi$ фильтра импульсов на регулирование реактивной мощности ведущего генератора с открытой турбиной и подключение цепи регулятора мощности к фильтру ведущего реактивного генератора может быть произведено от контактов реле *ПЕР* (рис. 8). При обесточении этого реле, что имеет место при отсутствии машин, работающих реактивными генераторами, замыкается его вторая пара контактов, которая восстанавливает первоначальное положение.

¹² Реле *ВОТ* могут быть подключены к фильтру типа рис. 7.

¹³ В цепи *II* — схемы рис. 1 [Л-1] пуска и остановки агрегатов необходимо ввести, вместо контактов ключа *К*, фильтры, составленные согласно схеме рис. 7.

По завершении операций по переводу машины контакты соответствующего сигнального реле *РГ-3* замыкаются в цепи *б* и размыкаются в цепи *з*, и реле *РРГ-3* продолжает питаться через контакт *РГ-3*. Одновременно в цепи *2* (в фильтре) замыкается контакт *ОТ''₃*.

В последующем, если активная нагрузка превысит уставку реле *W₁₂₃*, то это последнее разомкнет свои контакты, в результате чего будет разорвана цепь *б*. Обесточенное реле *РРГ-3* замыканием контакта оживит цепь реле времени *РВОТ-3* (цепь *8*) обратного перевода агрегата в режим открытой турбины.

Реле *РВОТ* при срабатывании, своим мгновенным контактом удержит цепь *7* реле *ПЕР* в замкнутом состоянии до момента подачи импульса на перевод агрегата в режим открытой турбины (момент замыкания второго, упорного контакта *РВОТ*).

Если же, после перевода агрегата № *3* в режим реактивного генератора, активная нагрузка ГЭС продолжает снижаться, то, при достижении допустимого для работы с двумя агрегатами №№ *1* и *2* минимума, срабатывает реле *W₁₂* (цепь *1*) и пропускает импульс на реле времени *РВРГ-2* перевода агрегата № *2* в режим работы реактивным генератором. Импульс проходит через замкнутые контакты *К-3* и *ОТ''₃* фильтра (цепь *2*).

Во всех вышеуказанных схемах положительный потенциал забирается в обход шинам *ШОТ* и *ШРГ* рисунка *5,б*, которые, как было выше указано, лишаются в определенных условиях этого потенциала.

Перевод в режим реактивного генератора последнего, оставшегося в режиме открытой турбины, агрегата — в данном случае агр. № *1* — производится уже устройством рисунка *5,б*, после полного снятия активной и наличия некоторой реактивной нагрузки на ГЭС.

3. Работа ГЭС по водотоку (рис. 9).

Данные соображения дополняют собой идеи, изложенные нами в работе о ГЭС, работающих по водотоку [Л-1].

Так же как и выше примем три метода регулирования реактивной нагрузки ГЭС: а) статическое регулирование напряжения; б) астатическое регулирование напряжения и в) регулирование на неизменный $\cos \varphi$.

Соответствующие режимные реле *ВОД* (цепи *1, 2* и *3*),

при наличии в верхнем бьефе достаточного горизонта $H_{нyc}$ и на шинах станции напряжения от системы (контакт f замкнут), оживляют реле $POT-C$ (цепь 4) работы станции в режиме открытой турбины и подключают регулятор мощности по водотоку к фильтру импульсов на регулирование ведущей турбины.

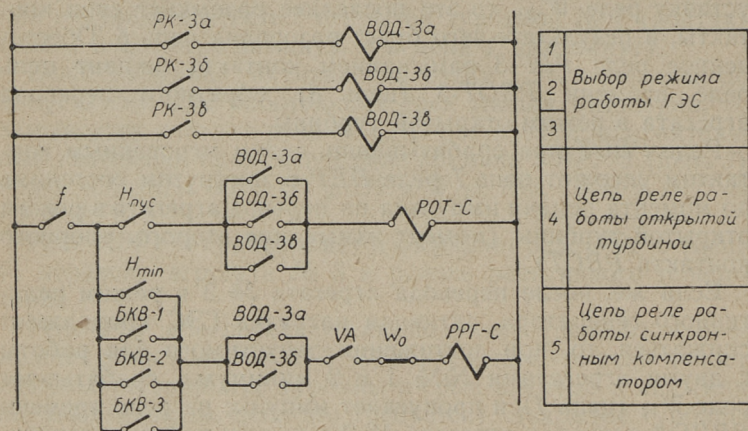


Рис. 9.

Схема рис. 8 перевода части агрегатов в режим синхронного компенсатора также применима в данном случае.

В случаях а) и б) перевод в компенсаторный режим последнего работающего агрегата производится от реле $PPG-C$ (цепь 5) в том случае, когда при наличии реактивной нагрузки (контакт VA замкнут) станция активной нагрузки не несет (замыкается контакт W_0).

В остальном схема автоматики такая же, как в предыдущем случае.

4. Работа ГЭС в режиме регулирующей станции (рис. 10).

Имеется в виду участие ГЭС в регулировании частоты системы. Методы регулирования при этом могут быть различными: регулирование частоты ведущими станциями, комбинированное регулирование «частота — мощность», регулирование по задающему вектору и т. п.

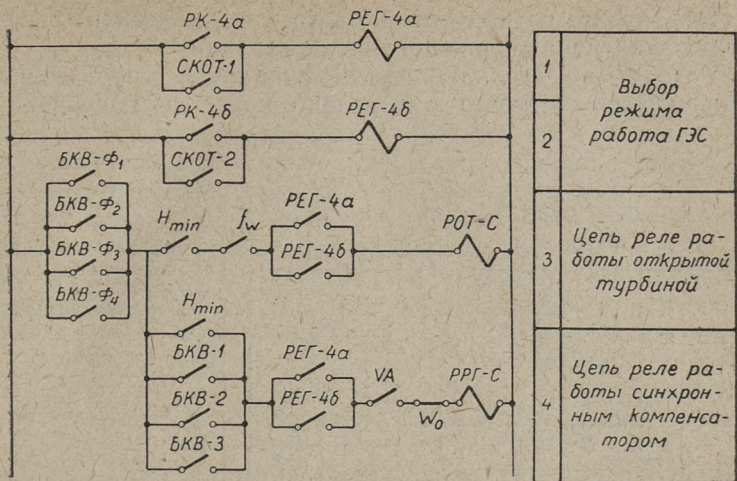


Рис. 10.

Рассмотрим работу таких станций при статическом (цепь 1 режимного реле) и астатическом (цепь 2) регулировании напряжения.

Срабатывание реле *РОТ-С* и запуск первого агрегата (цепь 3) будут иметь место лишь в том случае, если: 1) к шинам ГЭС подключен хотя бы один фидер (один из соответствующих блок-контактов *БКВ-Ф* замкнут); 2) уровень воды не ниже H_{min} и 3) регулируемый параметр (частота, частота-мощность и т. п.) требует увеличения мощности в системе (замыкается контакт f_w).

В остальном схема и действие автоматики такие же, как выше.

5. Работа ГЭС в режиме синхронного компенсатора (рис. 11).

Необходимость в работе станции исключительно в режиме синхронного компенсатора может, например, появиться для ГЭС с сезонным регулированием, не несущей в периоды накопления воды активной нагрузки, но призванной регулировать напряжение прилегающей к ней сети.

В аварийных условиях затянувшегося снижения частоты в системе и при режимном ключе станции, установленном на работу синхронным компенсатором, может появиться необходимость в запуске остановленной ГЭС (цепь 4; контакты *БК0* всех агрегатов и контакт *РРГ-С* замкнуты) регулирующей станцией. Указанное может быть выполнено посредством реле *СК0Т*, которое сработает при замыкании контакта реле частоты f_w и своими контактами разорвет с одной стороны цепь соответствующего режимного реле *СК* (цепь 1 или 2) работы ГЭС компенсатором и с другой — замкнет цепь соответствующего режимного реле *РЕГ* (цепь 1 или 2, рис. 10) работы ГЭС регулирующей станцией. В дальнейшем станция будет работать в указанном режиме до тех пор, пока цепь 4 не будет разорвана (размыкание контакта *КН*) диспетчером дистанционно или же автоматически, посылкой импульса от реле контроля вращающегося резерва в системе, при достижении достаточной величины этого резерва.

Посредством снятия накладки *НАК* в цепи 4, можно вывести из действия реле *СК0Т*, т. е. исключить возможность указанного перевода ГЭС в режим регулирующей станции.

Добавление к схеме рис. 11 цепи 5 даст, если это потребуется по напряжению, возможность запуска ГЭС синхронным компенсатором при режимном ключе, установленном на другой, какой-либо режим работы. Запуск станции производится при реле *РОТ-С* в состоянии покоя (загрузки ГЭС по активной мощности не требуется); срабатывает реле *СКП*; это реле: 1) обеспечивает самоподпитку, 2) замыкает цепь режимного реле *СК-5а* (цепь 1) работы ГЭС синхронным компенсатором¹⁴ и 3) разрывает цепи на регулирование машин от всех других регуляторов, кроме устройств для работы компенсатором.

Станция переключается обратно, на заданный режим работы лишь в том случае, если реле *РОТ-С* в схемах рисунков 6, 9 и 10 сработает, т. е. при поступлении от соответствующих регуляторов требования на набор станцией активной нагрузки (цепь 5 разрывается контактом *РОТ-С*).

¹⁴ или же, по желанию, реле *СК-5б*.

В процессе эксплуатации может потребоваться перевод «на ходу» нагруженной ГЭС с одного режима работы на другой. Указанное будет выполнено соответствующим изменением положения режимного ключа¹⁵. Эту операцию надлежит произвести возможно быстрее, т. к. станция, между двумя положениями ключа, остается «слепой», с отключенными регуляторами. Если при этом конечные режимы нагрузки ГЭС сильно разнятся между собой, то будет иметь место опасный для станции и системы переходный, колебательный режим. В таких случаях предпочтителен перевод ГЭС с одного режима работы на другой при полностью остановленной или же работающей на холостом ходу станции.¹⁶

Наличие достаточного вращающегося резерва на ведущих частоту автоматических ГЭС, являющихся одновременно пиковыми станциями в системе обеспечивается выбором уставки реле *A* запуска очередных агрегатов [Л-1] не выше, например, 60—80% от номинального тока машин. Такой резерв обеспечит в большинстве случаев «подхватывание» станциями нарастающей в моменты суточных пиков нагрузки. Однако в тех случаях, когда скорость нарастания нагрузки весьма большая, автоматика может не успеть подключить своевременно очередные агрегаты, вследствие чего возможна перегрузка работающих машин и даже посадка частоты в системе. Во избежание указанного следует снижать перед пиками уставку реле *A* или же иметь в системе отдельные пиковые станции, управляемые регуляторами мощности по заданному графику.

III УСКОРЕННЫЙ ЗАПУСК АГРЕГАТОВ

При перегрузке регулирующей ГЭС, сопровождаемой одновременно посадкой частоты, импульс на запуск очередного агрегата можно направить в обход контакту *РВП*

¹⁵ Операция может быть произведена непосредственно диспетчером посредством посылки соответствующего телеимпульса.

¹⁶ Очевидно, что изменение нагрузки автоматической станции может быть произведено персоналом или диспетчером посредством воздействия на уставки соответствующих регуляторов, т. е. на перемещение или же изменение их характеристик. В частности, таким путем может быть произведено перераспределение нагрузки между станциями.

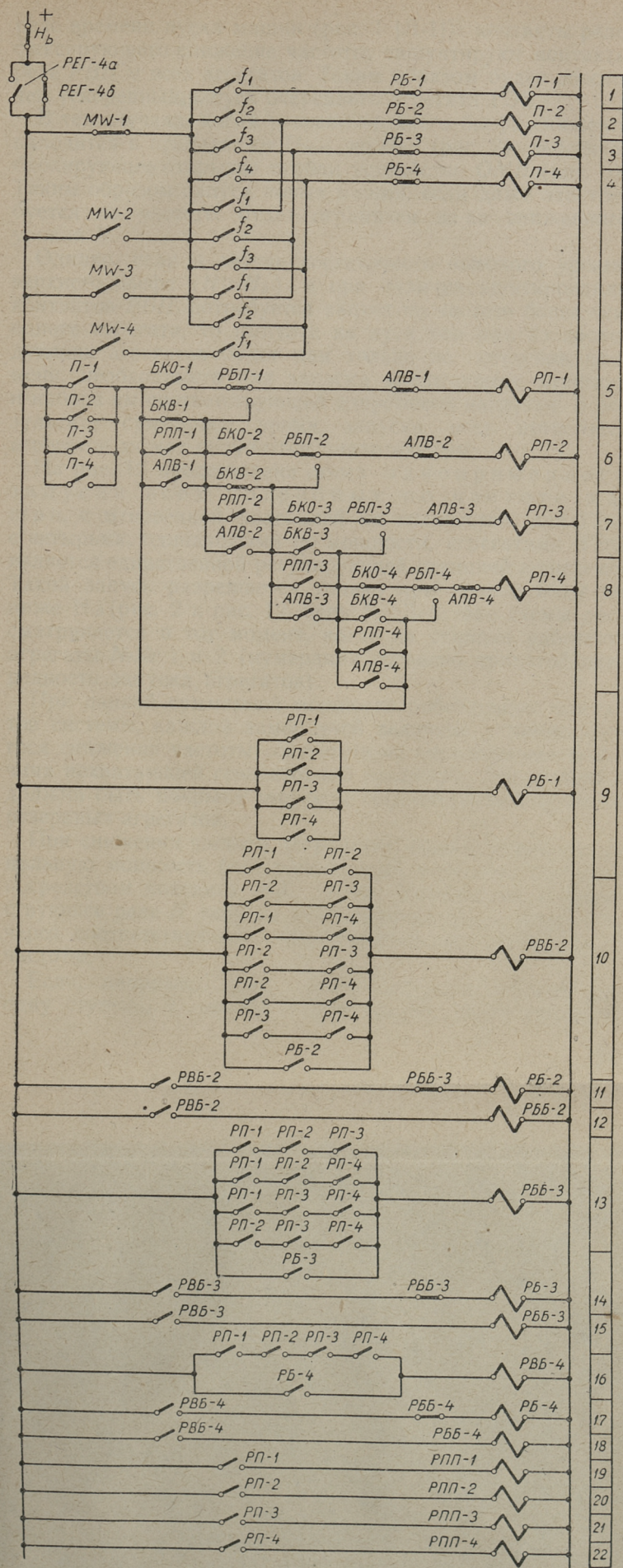


Рис. 12.

реле времени пуска машин (рис. 1 [Л-1]): контакты реле, фиксирующего снижение частоты, шунтируют контакты реле *РВП* у всех агрегатов. Таким образом будет обеспечен ускоренный запуск очередного агрегата ГЭС.

В тех случаях, когда уровень верхнего бьефа снижен и находится в пределах от H_{min} до H_b (рис. 2), действует блокирующее открытие турбин устройство *ОМВ* (рис. 3). Таким образом запуск новых машин, если даже это требуется по частоте, будет ограничен из-за сниженного уровня H .

Однако, если в случае достаточного высокого уровня верхнего бьефа ($H > H_b$), и при наличии шунтирования контактов *РВП*, потребуется запуск по частоте более чем одного агрегата, то импульс на пуск каждого из последующих агрегатов будет дан только по истечении времени, необходимого для запуска предыдущего агрегата и набора им соответствующей допустимой нагрузки. В результате суммарное время запуска всех потребных агрегатов может получиться значительным.

На рис. 12 представлена схема одновременного запуска всех потребных по частоте машин, с мгновенной фиксацией их количества, для ГЭС с четырьмя, одинаковыми по мощности, агрегатами. ГЭС является единственной регулирующей станцией в системе. Такой запуск разрешается только при уровне воды не ниже H_b (рис. 2 и рис. 12, цепь 1). Действие схемы рассматривается в тот момент, когда на станции работают агрегаты №№ 1 и 2 (нумерация согласно принятой очередности запуска агрегатов).

При данной суммарной мощности работающих агрегатов системы, каждой замеренной величине установившегося снижения частоты соответствует определенная величина нехватки генераторной мощности. Эта нехватка должна быть покрыта запуском соответствующего числа резервных агрегатов.

При снижении частоты устройство, суммирующее номинальную мощность всех работающих агрегатов системы, посредством контакта *МВ*, подает импульс на соответствующее реле *П* запуска необходимого числа агрегатов, через соответствующие, замкнутые контакты f реле частоты.

Если, например, имеет место снижение частоты на одну ступень, и система в этот момент имеет вращаю-

щуюся мощность в пределах первой установки MW суммирующего устройства, то через замкнувшийся контакт f_1 импульс от контактного ваттметра будет подан на реле $П-1$ пуска одной машины (цепь 1); в результате положительный потенциал пройдет к реле $РП-3$ пуска агрегата № 3 (цепь 7) через замкнутые контакты $П-1$, $БКВ-1$ (цепь 5), $БКВ-2$ и $БКО-3$. Сработавшее реле $РП-3$ оживит реле блокировки $РБ-1$ (цепь 9), которое, в свою очередь разомкнет цепь 1 на период времени, необходимый для запуска агрегата.¹⁷ Одновременно срабатывает медленно действующее реле $РПП-3$ (цепь 21), которое, замыканием своего контакта в цепи 8, позволит прохождение, в случае необходимости, импульса на запуск также и других агрегатов. Собственное время срабатывания указанного реле должно быть больше, чем у реле $РБ-1$; в противном случае ненужный импульс на запуск машины № 4 пройдет раньше, чем контакт $РБ-1$ в цепи 1 и, следовательно, контакт $П-1$ в цепи 5 успеют разомкнуться.

Если снижение частоты, при данной вращающейся мощности, произошло на две ступени, то замкнется контакт f_2 и оживится реле $П-2$ запуска двух машин (цепь 2). Запуск машины № 3 произойдет вышеуказанным путем; соответствующий импульс пройдет через замкнувшийся контакт $П-2$ (цепь 5). Замкнувшийся контакт реле $РПП-3$ (цепь 8) пропустит импульс дальше, на реле $РП-4$ запуска машины № 4. Замкнувшиеся контакты $РП-3$ и $РП-4$ (цепь 10) пропустят плюс на катушку реле времени $РВБ-2$. Это последнее своим мгновенным контактом замкнет цепь 11 реле $РБ-2$. Сработавшее реле $РБ-2$ обеспечит, с одной стороны, питание реле $РВБ-2$ и, с другой — разомкнет цепь 2 реле $П-2$. Реле $РПП-4$ должно иметь время срабатывания, превышающее суммарное время срабатывания реле $РВБ-2$ (мгновенного контакта) и $РБ-2$. По истечении времени, необходимого для запуска агрегатов №№ 3 и 4, реле $РВБ-2$ своим вторым контактом оживит цепь 12 реле блокировки $РББ-2$. Это реле разомкнет цепь $РБ-2$, и схема придет в исходное положение.

¹⁷ Цепь самоподпитки реле $РП$ на схеме не показана; она разрывается при включении запущенного агрегата соответствующим блок-контактом $БКО$. Последующее размыкание контакта $РП$ лишает питания реле $РБ-1$ (цепь 9).

О роли контакта $РБП$ реле блокировки пуска агрегата см. рис. 1 [Л-1].

Если перегрузка настолько большая, что соответствующая защита действует на отключение агрегата, то реле АПВ однократного повторного включения агрегата срабатывает и, с одной стороны, выводит из действия в данной схеме соответствующее реле РП, а с другой стороны — направляет положительный потенциал на вышеописанный запуск очередных агрегатов в обход контакту БКВ (цепи 5 ÷ 8) подлежащего повторному включению агрегата.

Таким образом повторный запуск отключенных указанной защитой и запуск необходимого количества дополнительных агрегатов происходят одновременно, независимо друг от друга.¹⁸

Нетрудно проследить на схеме условия и ход запуска трех или четырех агрегатов.

Аналогичным путем строятся схемы для ГЭС с любым количеством агрегатов.

В тех случаях, когда параллельно с рассматриваемой ГЭС в системе работают еще другие регулирующие станции доля участия в покрытии дефицита мощности при посадке частоты в системе определяется удельным весом ГЭС в совокупности всех регулирующих станций. Учитывая сказанное к устройству MW рисунка 12, в данном случае надо подвести не всю мощность системы, а только ту ее часть, которая падает на долю данной ГЭС.

Указанное может быть осуществлено устройством рисунка 13: к реле типа рисунка 3 подводятся два напряжения: одно U_{P_r} , пропорциональное номинальной мощности данной ГЭС и другое — U_{Σ} , пропорциональное суммарной номинальной мощности всех регулирующих станций; подвижной контакт реле снимает с трансформатора (или потенциометра), к первичной стороне которого подводится напряжение U_{P_c} , пропорциональное вращающейся мощности всей системы, напряжение $U_{P_{cГ}}$, которое будет пропорциональным той доле суммарной мощ-

¹⁸ Замер величины нехватки мощности производится мгновенно, т. е. до отключения машин защитой от перегрузки. Следовательно, для восстановления баланса мощностей в системе необходимо включить как отключившиеся агрегаты, так и новые потребные машины, что и производится описанной автоматикой.

ности, которая падает на данную ГЭС; это напряжение подводится к устройству MW .

Недостаток схемы: при аварийном распаде системы устройство будет запускать излишнее количество машин, т. к. устройство продолжает реагировать на мощность, зависящую от всех станций системы, в том числе и от тех, которые работают несинхронно с рассматриваемой ГЭС.

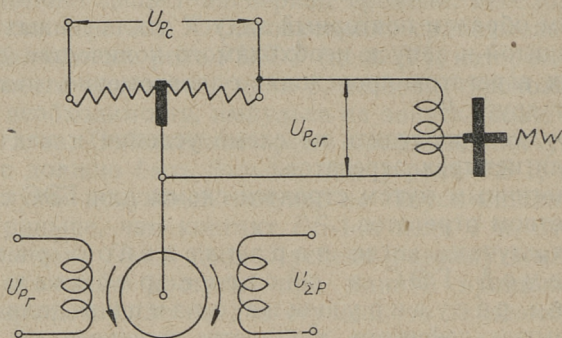


Рис. 13.

Для устранения этого дефекта на цепях всех станций, подводимых для получения напряжений U_{P_c} и $U_{\Sigma P}$ к устройству рис. 13, можно установить специальные контрольные устройства проверки синхронизма. Эти устройства будут отключать от суммирующей установки цепи тех станций, которые не работают синхронно с данной ГЭС.

Наличие в системе устройства автоматической аварийной разгрузки по частоте способствует сохранению в работе, при посадках частоты, стационарных генераторов. Однако, если применяемые защиты от перегрузки являются быстродействующими, то при глубоких посадках (большая перегрузка машин) эти защиты могут отключить агрегаты еще до срабатывания разгрузки по частоте. Поэтому установка упомянутого однократного повторного включения отключенных защит от перегрузки агрегатов весьма желательна; после включения этих машин, а также потребных дополни-

тельно агрегатов, запущенных согласно указанной схеме, устройство автоматического обратного включения фидеров подключит отключенные разгрузкой фидеры.

Следовательно, выдержка времени устройства обратного включения фидеров должна превышать величину времени, потребную для запуска всех вышеуказанных машин. Разгрузка по частоте должна сработать только после того, когда устройство рисунка 12 успеет зафиксировать количество надлежащих ускоренному запуску агрегатов, т. е. не раньше чем сработают соответствующие реле $РП$ (рис. 12).

Кроме того, желательна установка устройства, сравнивающего суммарную номинальную мощность всех работающих агрегатов системы с ее суммарной действующей нагрузкой; это устройство должно блокировать обратное включение фидеров в тех случаях, когда в системе отсутствует вращающиеся резерв достаточной величины. Для указанной цели может быть использовано устройство, работающее на принципе дифференциального реле рисунка 3. Установка для диспетчера прибора, показывающего величину вращающегося резерва будет весьма нужной.

Полезной будет также установка устройства, измеряющего величину суммарного резерва мощности регулирующих станций, остановленного плюс вращающегося. При иссякании указанного резерва устройство должно подавать импульс на автоматический перевод ГЭС, работающих по графику или же по водотоку, в режим регулирующей станции. При восстановлении резерва заданной величины автоматика должна перевести эти станции обратно, на заданный режим работы.

В случае комбинированного регулирования частоты и активной мощности станции по методу виртуального статизма в схему рис. 12 вводится, вместо контактов устройства MW и реле частоты f , контакты устройства, измеряющего ступенями величину

$$\Delta F = \Delta f + K \Delta P,$$

где Δf — отклонение частоты, ΔP — разность между фактической и заданной, согласно характеристике регулятора, мощностями станции и K — угловой коэффициент указанной характеристики. Контакт должен замыкаться при отрицательном ΔF . В зависимости от величины ΔF будут замыкаться соответствующие контакты в цепях реле Π рисунка 12.

В случае применения других методов регулирования в схему вводятся контакты устройств, замеряющих ступенями величину соответствующего регулируемого параметра.

Схемы ускоренного запуска осложняются в случае агрегатов разной мощности. Поэтому в таких случаях лучше ограничиться устройством шунтирования контактов пусковых реле времени.

IV АВАРИЙНЫЕ РЕЖИМЫ, СХЕМЫ КОММУТАЦИИ И АВТОМАТИКА ГЭС

В тех случаях, когда требования динамической устойчивости являются важными для ГЭС, необходимо в моменты короткого замыкания обеспечить форсировку возбуждения всех генераторов, следовательно и тех, которые работают в режиме неизменного $\cos \varphi$ или же по заданному графику реактивной нагрузки.

Указанное можно обеспечить аварийным разрывом цепи регулирующих импульсов на снижение возбуждения, идущих от соответствующих регуляторов на установочный реостат $АРН$ ведущего агрегата; разрыв осуществляется последовательно включенным в цепь контактом реле минимального напряжения; в результате, представленные самим себе $АРН$ произведут подъем возбуждения согласно их статическим характеристикам.

В случае применения комбинированного регулирования «частота — активная мощность» необходимо, при распаде системы на несинхронно работающие отдельные группы станции, ввести автоматическую корректировку коэффициентов долевого участия регуляторов станций. Указанное возможно с помощью устройств контроля синхронизма, которые дадут возможность сгруппировать вместе стан-

ции, работающие синхронно, суммировать их мощности и, посредством дифференциальных реле, автоматически корректировать коэффициенты долевого участия каждой из станций. Такое устройство будет корректировать указанные коэффициенты также и в нормальных режимах, при изменении количества включенных машин в системе или количества параллельных линий (т. е. пропускной способности) соединительной передачи.

Это же устройство должно корректировать внутренние коэффициенты комбинированных регуляторов, как-то коэффициентов виртуального статизма, заданной обменной мощности и т. п.

Другим решением вопроса при распаде системы на несинхронно работающие части будет автоматическое переключение станций с комбинированных регуляторов на регулирование только в функции частоты. В данном случае выявительным элементом распада будет служить устройство контроля синхронизма. Очевидно, что при восстановлении единства системы указанное устройство должно перевести регулирование обратно на комбинированные регуляторы.

Если контроль синхронизма на ГЭС, работающей по заданному графику, по водотоку или же синхронным компенсатором выявит отключение всех параллельно работавших регулирующих станций, то введением соответствующих элементов в схеме рисунков 6, 9 и 10 можно обеспечить автоматический перевод ГЭС в режим регулирующей по частоте станции, с обратным переключением при последующем подключении к сети данной ГЭС хотя бы одной из регулирующих станций.

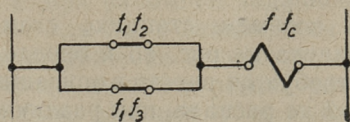


Рис. 14.

Если, например, работавшие параллельно с данной ГЭС, регулирующие станции в количестве двух отключились, то сработают оба реле $f_1 f_2$ и $f_1 f_3$ контроля синхро-

низма данной станции с каждой из них и (рис. 14) разомкнут цепь реле \overline{ff}_c контроля наличия параллельно работающих регулирующих станций. Реле \overline{ff}_c снимет положительный потенциал со схем рисунков 6 и 9 и третьим контактом зашунтирует контакт $PK-4a$ в схеме рис. 10; в результате ГЭС будет переведена в режим регулирующей станции.

Вопрос увязки работы автоматики ГЭС с действием АПВ линий, при потере связи с остальными, регулируемыми частоту станциями, был нами рассмотрен в свое время для ГЭС, работающей по водотoku [Л-1]. Те же соображения могут быть в основном применены и для случая ГЭС, работающей в любом другом режиме.

Рассмотрим влияние схемы коммутации ГЭС на автоматику.

В тех случаях, когда возможен распад станции на несинхронно работающие части, описанные схемы автоматики несколько осложняются.

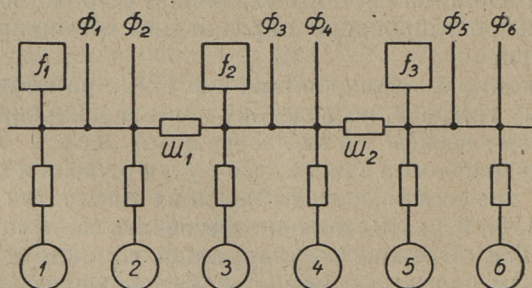


Рис. 15.

Для примера возьмём станцию, схема коммутации которой представлена на рис. 15 и определим те изменения, которые потребуется внести в описанные схемы автоматики, на случай ее распада, при различных режимах ее работы.

1) ГЭС работает по заданному графику или по водотoku.

а) Все секции ГЭС, несмотря на отключение секционных выключателей \mathcal{W}_1 и \mathcal{W}_2 ,

остались между собой в синхронизме ($f_1=f_2=f_3$). В данном случае схемы рисунков 6 и 9 не требуют никаких изменений, если каждая из секций в отдельности представляет собой шины бесконечной реактивной мощности; в противном случае вышеописанная взаимосвязь между реактивной нагрузкой работающих и пуском очередных машин может привести к неправильной работе автоматики.

Например, при перегрузке по реактивной мощности агрегатов № 1 и 2, вызванной действием их *АРН* при снижении напряжения на секции № 1, подается ненужный импульс на запуск агрегатов, подключаемых к другим секциям, где в рассматриваемый момент напряжение может оказаться нормальным.

б) В результате отключения секционных выключателей ГЭС распалась на несинхронно работающие секции ($f_1=f_2 \neq f_3$ или $f_1 \neq f_2 = f_3$ и т. д.). Если станция работала по заданному графику, то распределение между различными секциями и, следовательно, между различными подключенными сетями выдаваемой мощности будет носить непредусмотренный, произвольный характер.

Кроме того, как в случае работы по заданному графику, так и в случае работы по водотoku будет иметь место вышеуказанное явление неправильного запуска агрегатов.

Среди возможных решений наиболее целесообразным будет применение, при распаде работающих в таких режимах ГЭС на отдельно работающие секции, схем автоматики, обеспечивающих выполнение следующих условий работы:

1) регулирование напряжения отдельных секций должно производиться регуляторами напряжения подключенных машин, т. к. при работе по заданному графику реактивной нагрузки или же с неизменным $\cos \varphi$ правильное регулирование напряжения секций не обеспечивается;

2) перевод части машин в режим реактивного генератора не может быть допущен, т. к. вышеописанная схема рис. 8 построена, исходя из соображений общестанционного, а не посекционного баланса активных и реактивных мощностей;

3) при перегрузке реактивной мощностью агрегатов данной секции агрегаты других секций не должны запускаться;

4) если частота на данной секции равна нулю, то ее агрегаты подключаться не должны.

Исходя из сказанного в схему рис. 6 вносятся следующие изменения (рис. 16): реле *ОШ*, фиксирующее распад ГЭС на секции¹⁹, разрывает цепи 2, 3 и 4 и замыкает цепь 1; в результате ГЭС переводится на работу по заданному графику активной нагрузки, с регулированием напряжения от *АРН*.

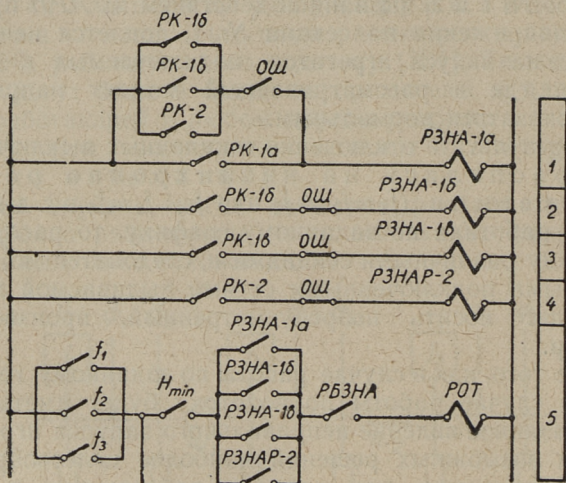


Рис. 16.

В схему запуска агрегатов (рис. 1 [Л-1]) вносятся следующие изменения (рис. 17): при распаде ГЭС размыкаются блок-контакты *БКВ-Ш* и запуск первых в заданной очередности машин секций (в данном случае агрегатов №№ 1, 3 и 5) разрешается только в том случае, если машины предыдущей секции загружены до заданного предела активной, а не реактивной нагрузкой (замыкаются соответствующие контакты *ОТ^м* открытия турбин) или же отключены, с блокировкой повторного запуска (контакты *РБП* переключены вниз); кроме того,

¹⁹ Это реле срабатывает при замыкании одного из параллельно включенных в его цепь блок-контактов *БКО-Ш* секционных выключателей (рис. 15).

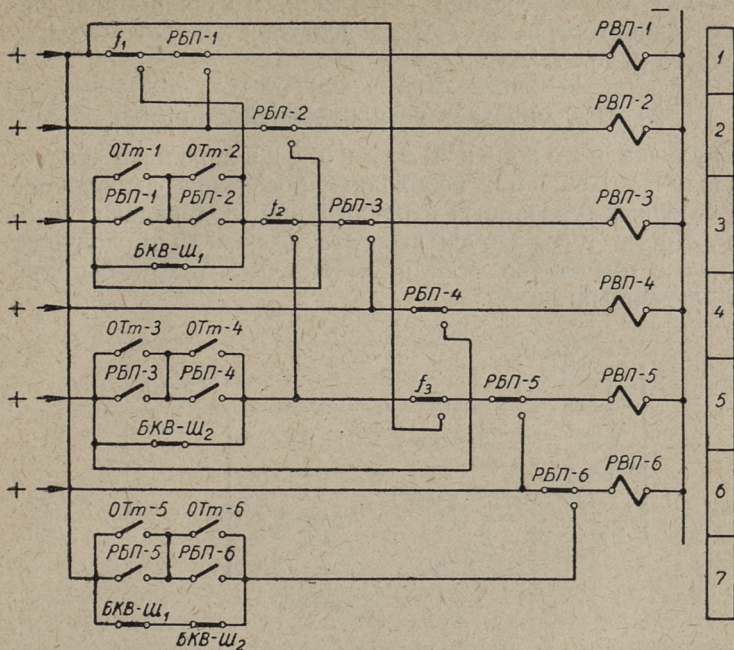


Рис. 17.

импульс на запуск первых машин не проходит в том случае, если на секции нет напряжения от системы (контакт соответствующего реле f переключен вниз); специальное реле $СП_1$ (рис. 18), которое срабатывает при распаде ГЭС, своим нормально замкнутым контактом снимает положительный потенциал с обычной схемы запуска, а вторым контактом подает положительный потенциал на схему запуска, дополненную согласно рис. 17; в остальном схема запуска не изменяется.

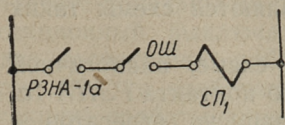


Рис. 18.

Аналогичным образом, для случая работы ГЭС по водоток, в схеме рис. 3 контакты реле $ОШ$ разрывают цепи 2 и 3 и замыкают цепь 1; схема запуска — согласно рис. 17, с подключением от реле типа $СП$, но с контактом $ВОД-3а$ вместо $РЗНА-1а$.

Схема рис. 8 перевода части машин в режим реактивного генератора выводится из действия контактом сработавшего реле *ОШ*.

2) ГЭС работает регулирующей станцией.

В случае распада ГЭС на синхронно работающие секции необходимо обеспечить выполнение трех первых, указанных в предыдущем подразделе, условий. Кроме того, запуск агрегата должен быть допущен только в том случае, если он сможет питать хотя-бы один подключенный фидер.

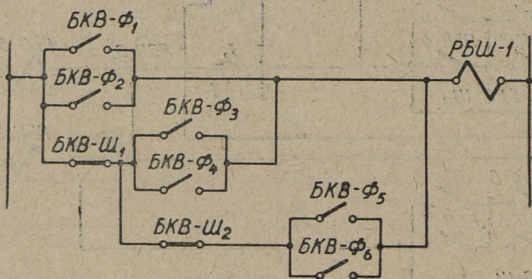


Рис. 19.

В данном случае схема запуска агрегатов будет иметь вид, схожий со схемой рис. 17, но со следующим изменением: вместо контактов реле f вводятся контакты специального реле *РБШ*, которые блокируют пуск машин данной секции в тех случаях, когда, в результате отключения секционных выключателей, агрегаты данной секции лишаются возможности питать какой-либо фидер. На рис. 19 показана цепь срабатывания реле *РБШ-1* первой секции; здесь *БВ-Ф* блок-контакты «включено» фидерных и *БКВ-Ш* блок-контакты шинных секционных выключателей. Аналогичным путем составляются схемы таких реле для других секций.

Реле *СП₂*, действующее согласно схеме, аналогичной рис. 18, но с контактом *РЕГ-1а* вместо контакта *РЗНА-1а*, снимает плюс с нормальной схемы запуска агрегатов и подает его на указанную схему запуска.

Соответственно в схему рис. 10 работы ГЭС регулирующей станцией вносятся следующие изменения (рис. 20):

регулирование переключается на режим работы со статическими АРН (режимное реле РЕГ-4а), причем реле контроля синхронизма $\bar{f}f_r$ должно подтвердить наличие синхронизма всех секций (соответствующий контакт в цепи РЕГ-4а остается замкнутым).

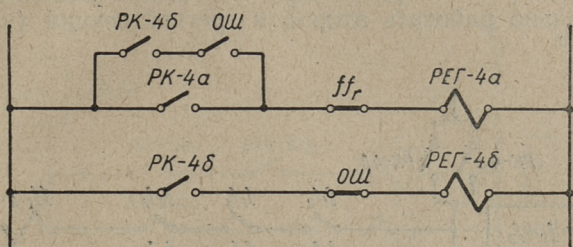


Рис. 20.

В остальном действие автоматики такое же, как выше. При распаде ГЭС на несинхронно работающие секции или же группы секций, каждая из них будет фактически представлять собой независимую станцию со своей частотой. Следовательно, автоматика должна переключить эти секции на заранее предусмотренные на этот случай режимы регулирования.

Общестанционное реле $\bar{f}f_r$ нарушения синхронизма должно вывести из действия схему регулирования станции как одного, единого блока (рис. 20) и снять положительный потенциал с общестанционной схемы запуска и остановки агрегатов. Одновременно реле $\bar{f}f$ сравнения частот секций вводят в действие соответствующие схемы индивидуального, посеctionного регулирования и подают плюс на соответствующие посеctionные схемы запуска и остановки агрегатов.

Возможные комбинации секций станции (рис. 15) по частоте показаны на рис. 21. Если, например, отключится секционный выключатель $\bar{Ш}_1$ и станция разделится на две несинхронно работающие части ($f_2 = f_3 \neq f_1$; цепь 4 рис. 21), то сработает реле $\bar{f}f_{23-1}$ контроля синхронизма секции; срабатывание указанного реле обусловлено тем, что включенные в его цепь контакты разных реле попарного сравнения частот примут следующее положение: контакт $f_2 f_3$ остается замкнутым, из-за совпадения частот

второй и третьей секций, а контакты $f_1 f_2$ и $f_1 f_3$ замкнутся, из-за расхождения частот соответствующих секций. Сработавшее реле ff_{23-1} подключит соответствующие схемы регулирования от АРЧ и подаст плюс на схемы запуска и остановки агрегатов, с одной стороны для первой секции (частота f_1) и с другой — для продолжающих параллельно работать второй и третьей секций (частота $f_2 = f_3$).²⁰

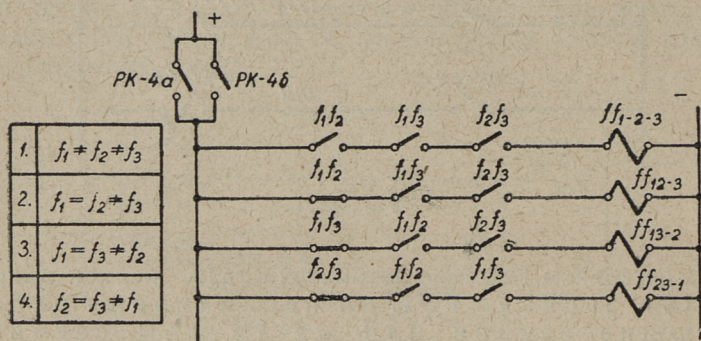


Рис. 21.

В данном случае, при распаде системы на части, реле контроля синхронизма должны обеспечить автоматическую корректировку также и коэффициентов указанных, посекционных регуляторов.

3) ГЭС работает в режиме синхронного компенсатора.

Необходимо дополнительно ввести в цепи 1 и 2 рис. 11 схемы общестанционного регулирования контакты реле СШ, которые при распаде ГЭС разомкнутся и выведут схему из действия. Одновременно указанное реле снимет плюс со схемы общестанционного запуска и остановки агрегатов.

С другой стороны, сработавшее соответствующее реле С

¹ Количество отдельных регуляторов и схем запуска и остановки агрегатов предопределяется количеством возможных для данной схемы ГЭС комбинаций по частоте секций; в случае станции рис. 15 оно равно шести: три для отдельной работы (цепь 1, рис. 21) и три для случаев попарной работы секций (цепи 2, 3 и 4, рис. 21).

(рис. 22) подает плюс на соответствующие схемы посе-
 ционного регулирования, запуска и остановки агрегатов.¹

Аналогичным путем составляется автоматика для любой
 другой схемы коммутации, в том числе для многоуголь-
 ника и кольцевой схемы.

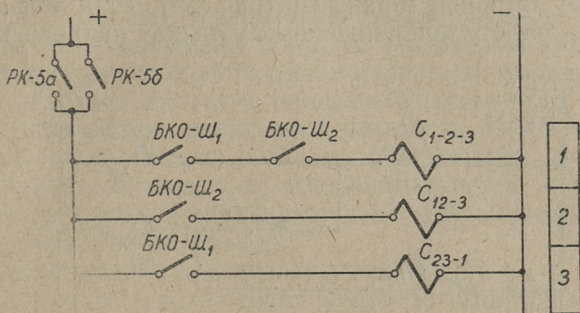


Рис. 22.

Как видно из вышеизложенного, при схемах ком-
 мутации ГЭС, с большим количеством
 точек возможного распада, схемы авто-
 матики соответственно усложняются.

В РАЗГРУЗКА ПЕРЕГРУЖЕННЫХ МАШИН И ЗАЩИТА ОТ ЗАВЫШЕННОГО $\cos \varphi$

Схемы защиты, в зависимости от режима работы ГЭС,
 будут разными; требуемая схема будет включаться соот-
 ветствующим контактом режимного ключа.

1. ГЭС работает по водоток.

Соответствующая схема защиты, для случая работы
 машины со статическими АРН, была нами рассмотрена
 в свое время [Л-1]²².

²¹ Попутно добавим, что при отключении поврежденной секции
 защита шин должна привести в действие реле РБП блокировки
 повторного запуска агрегатов секции.

²² На указанной схеме (рис. 4 [Л-1]) имеется опечатка: контакт
 реле РП- U_{max} в цепи 3 должен быть включен не последовательно,
 а параллельно с контактом РП_{раз}.

Очевидно, что в случае применения астатического регулирования напряжения действие разгрузки по реактивной мощности может вызвать снижение напряжения, что недопустимо по самому принципу такого регулирования. Следовательно, в данном случае разгрузка допустима только по активной мощности (рис. 23), если только не допустить работу при сниженных уставках напряжения.

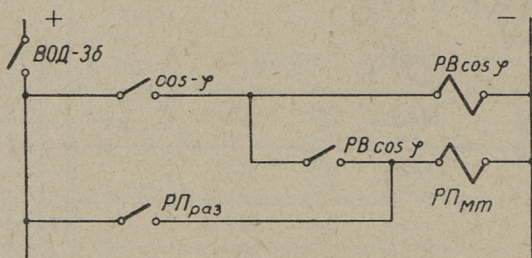


Рис. 23.

В случае регулирования на неизменный $\cos \varphi$ действие реле разгрузки на закрытие турбины повлечет за собой одновременную разгрузку машины и по реактивной мощности.

2. ГЭС работает по заданному графику активной нагрузки.

В случае статического регулирования напряжения полностью применима вышеуказанная схема защиты.

При астатическом регулировании напряжения необходимо применить схему аналогичную рис. 23. В данном случае, если в результате разгрузки произойдет снижение частоты, то вмешаются станции регулирующие частоту и сработает автоматическая разгрузка системы по частоте.

3. ГЭС работает по заданному графику как активной, так и реактивной мощности.

Необходима установка защиты согласно рис. 4 и 5 [Л-1].

4. ГЭС работает в режиме синхронного компенсатора.

Требуется только защита от перегрузки. Цепь разгрузки действует на снижение возбуждения генератора.

5. ГЭС работает регулирующей станцией.

Защита согласно схемам рисунков 4 и 5 [Л-1].

Можно также применить следующую схему: реле общестанционного завышенного $\cos \varphi$ запускает очередную машину в режиме синхронного компенсатора; при ее подключении, регулирование возбуждения работающих с открытой турбиной генераторов автоматически переключается на неизменный $\cos \varphi$; в результате напряжение будет регулироваться только синхронным компенсатором, который будет работать с недовозбуждением, т. е. в режиме потребителя реактивной мощности.

При снижении тока компенсатора до нуля, он автоматически отключается, и восстанавливается нормальная схема регулирования напряжения работающими агрегатами с открытой турбиной.

При наличии на шинах станции батареи шунтовых реакторов такая схема автоматики могла бы аналогичным образом управлять подключением этих реакторов при завышенном $\cos \varphi$.

VI ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

А. Дальнеуправление рабочими процессами гидростанции с зарегулированным стоком не является совершенным решением проблемы автоматизации таких станций: диспетчер перегружается работой по управлению станцией и выполнение соответствующих операций производится сравнительно медленно.

Б. Полученные в настоящей работе о полной автоматизации ГЭС с зарегулированным стоком основные результаты суть следующие:

1. Составлены диаграммы и очерчены устройства автоматического ограничения, в функции уровня водохранилища, максимально допустимой мощности ГЭС и ограничения минимально допустимой мощности станции.

2. Даны соображения и схемы полной автоматизации для работы ГЭС в следующих режимах: а) по графику активной нагрузки, со статическим или астатическим регулированием напряжения или же с регулированием на неизменный $\cos \varphi$; б) по графикам активной и реактивной нагрузки; в) по водотоку, со статическим или астатиче-

ским регулированием напряжения или же с неизменным $\cos \varphi$; г) регулирующей частоту, со статическим или же астатическим регулированием напряжения и д) синхронным компенсатором. Режим выбирается режимным ключом.

3. При чрезмерно низком $\cos \varphi$ автоматика переводит часть машин в режим реактивного генератора.

4. При посадках частоты автоматика фиксирует величину недостающей мощности и производит ускоренный запуск необходимого числа агрегатов. Действие устройства координируется с АПВ агрегатов, разгрузкой по частоте и автоматическим обратным включением фидеров.

5. Устройство контроля синхронизма между станциями, обеспечивает автоматическую корректировку коэффициентов регуляторов станций.

6. При отключении всех параллельно работающих станций, или же при нехватке резерва на регулирующих станциях, ГЭС, работающая по графику или же по водотоку, автоматически переводится в режим регулирующей станции.

7. Рассмотрена автоматика для различных режимов работы ГЭС, схема коммутации которой допускает ее распад на отдельные секции.

8. Даны схемы разгрузки и защиты от завышенного $\cos \varphi$ агрегатов при различных режимах работы ГЭС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами были рассмотрены основные возможные режимы работы полностью автоматизированных ГЭС. Соответствующие соображения и схемы могут быть, по мере необходимости, в каждом отдельном случае проектирования таких ГЭС, использованы полностью или частично.

Применение описанных устройств обеспечит в оперативном отношении полную независимость автоматики ГЭС. Такая автоматика сама «мыслит», принимает решения и выполняет все необходимые операции как в нормальных, так и в аварийных режимах работы станции и системы в целом.

Участие в данном случае диспетчера в управлении станцией сводится в основном к выбору отправных режима

работы ГЭС и коэффициентов регулирования станционных регуляторов.

Описанная автоматика потребует в некоторой мере применения телесигнализации, телеизмерений и телерегулирования непосредственно между станциями. Но с другой стороны отпадает необходимость в телеимпульсах с диспетчерского пункта на пуск, регулирование и остановку агрегатов. Сокращается также количество телеимпульсов сигнализации и измерений, идущих со станции на диспетчерский пункт. Следовательно, надо полагать, что при переводе ГЭС на работу по указанным схемам количество потребных телеканалов связи не увеличится.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Р. Буачидзе. Многоагрегатные автоматические гидростанции, работающие по водотоку.
Автоматика и телемеханика, 1952, № 2.
-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение. Цель работы:	3
I Исходные положения и режимная диаграмма	4
II Различные режимы работы ГЭС с зарегулированным стоком и принципы построения соответствующих схем автоматики	9
III Ускоренный запуск агрегатов	24
IV Аварийные режимы, схемы коммутации и автоматика ГЭС	30
V Разгрузка перегруженных машин и защита от завышенного $\cos \varphi$	39
VI Основные выводы и результаты	41
Заключение	42
Литература	43

С. Р. Буачидзе.
Полностью автоматизированные гидростанции
с зарегулированным стоком
Эстонское Государственное Издательство.
Таллин, Пярну мантеэ 10.

*

Редактор Б. Тамм.
Технический редактор М. Аардма.
Корректор Н. Круглова.

Сдано в набор 8 V 1955. Подписано к печати 6 VIII 1955. Бумага 54×84¹/₁₆.
Печатных листов 2,75+1 вклейка. По формату 60×92 печатных листов
2,32. Учетно-издательских листов 2,13. Тираж 800. МВ-15694. Заказ 1771.

Типография «Юхисэлу», Таллин, улица Пикк 40/42.

Цена руб. 1. 50.

