

На правах рукописи

РИШАГ Хуссейн Тани

**РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ И ОБМЕННОЙ МОЩНОСТИ В  
ОБЪЕДИНЕННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ**

Специальность 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические  
системы

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2005

Работа выполнена на кафедре «Электрические станции и автоматизация энергетических систем» в ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Павлов Геннадий Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Смоловик Сергей Владимирович  
кандидат технических наук, доцент  
Шмурьев Валентин Яковлевич

Ведущая организация: РАО «ЕЭС России», центр подготовки кадров  
(СЗФ АО «ГВЦ Энергетики»)

Защита состоится “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2005 г. в \_\_\_ часов на заседании диссертационного совета К 212.229.02 в ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу:

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29,  
в ауд. 325 главного здания.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2005 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета К 212.229.02  
кандидат технических наук

Попов М.Г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. Проблема регулирования частоты возникла с самого начала развития электроэнергетики. Это связано с ростом единичной мощности агрегатов и увеличением протяженности линий электропередач.

В решении этих вопросов важную роль играет регулирование частоты и обменной мощности. Система автоматического регулирования частоты и обменной мощности (САРЧМ) является одной из главных функций системы оперативно-диспетчерского управления. Создание объединенных энергосистем тесно связано с решением вопросов регулирования межсистемных перетоков. Частота является основным качественным показателем электрической энергии. Для удовлетворительной работы потребителей требуется поддержание частоты на заданном уровне. При отклонении частоты изменяется нагрузка агрегатов станций и изменяется распределение нагрузки между станциями системы.

Особо остро проблема проявляется в объединенных энергосистемах. Межсистемные линии передачи являются "слабыми" связями, пропускная способность которых лежит в пределах 5-10% от установленной мощности энергосистемы. В таком случае колебания нагрузки в энергосистеме в диапазоне  $\pm 1,0\%$  могут привести к большим отклонениям обменной мощности и привести к нарушению устойчивости на межсистемной ЛЭП. Вот почему при создании объединенных энергосистем (ОЭС) допустимое отклонение частоты уменьшают до  $\pm 0,1$  Гц.

Процесс интеграции энергетических систем продолжается вплоть до настоящего времени. Созданы межгосударственные энергообъединения нескольких стран Европы, ставится вопрос о параллельной работе на переменном токе Единой Энергосистемы (ЕЭС) России с объединенной системой стран Западной Европы. В этой связи ставится задача регулирования частоты в России в пределах  $50 \pm 0,05$  Гц.

Цель диссертационной работы – разработать математическую модель объединенной энергосистемы и на её основе провести исследование переходных процессов при регулировании частоты и обменной мощности. Сформулировать рекомендации по улучшению характеристик системы автоматического регулирования частоты и обменной мощности сверхмощных энергообъединений.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем.

1. Разработана математическая модель энергосистемы и её элементов – турбины с регулятором частоты вращения, генератора, нагрузки и других элементов структурной схемы.

2. Объединенная энергосистема создана из двух энергосистем, соединенных межсистемной линией передачи. Для моделирования объединенной энергосистемы на ЭВМ использованы программы Matlab и Simulink, позволяющие ставить задачу на ЭВМ по структурной схеме объекта. Для этой цели все элементы объекта – регулятор, турбина и генератор – введены в ЭВМ в виде передаточных функций.

3. Модель энергообъединения на ЭВМ позволяет исследовать переходные процессы при возмущениях в любой точке структурной схемы.

Практическая ценность и внедрение результатов работы.

На ЭВМ создана модель первичного и вторичного регулирования. Это позволяет проводить исследования регулирования частоты и обменной мощности по любому закону управления этими величинами. Окончательный выбор закона управления осуществляется с учетом технических возможностей изменения обменной мощности. Из-за инерционности элементов структурной схемы регулирования первичный и тем более вторичный регуляторы практически не оказывают влияния на начальную стадию переходного процесса.

Разработаны предложения по внедрению «встречного» воздействия на энергосистему в виде импульсного отключения нагрузки (ИОН) или воздействия на регулятор частоты вращения через электрогидравлическую приставку (ЭГП) турбины. Эффективность такого воздействия показана на осциллограммах переходных процессов.

Апробация работы и публикации. Основные результаты работы изложены в 2 печатных изданиях.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 94 наименований. Общий объем работы 143 страниц, включая 42 рисунка.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы исследования, сформулированы цель и совокупность задач диссертационной работы, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан обзор развития систем автоматического регулирования частоты и обменной мощности. Описана проблема регулирования частоты в ОЭС, связанная с ростом единичной мощности агрегатов и увеличением протяженности линий электропередачи. Рассматривается влияние длительной работы с пониженной частотой на энергосистему, динамика снижения частоты при колебаниях нагрузки в энергосистеме. Колебания нагрузки могут привести к большим отклонениям обменной мощности и привести к нарушению устойчивости на межсистемной ЛЭП.

Во второй главе построена математическая модель турбо и гидрогенератора, работающего на энергосистему, разработана математическая модель генератора, описывается структурная схема энергосистемы (рис.1), приведены передаточные функции элементов регулятора частоты вращения паровой, гидравлической турбины и энергосистемы.

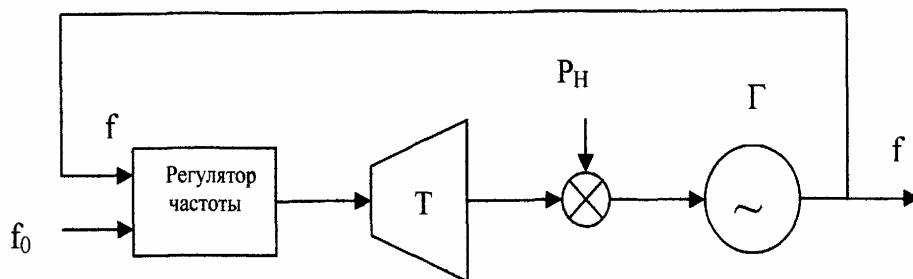


Рис.1. Структурная схема управления энергосистемой.

Схема управления агрегатом замкнута – фактическое значение частоты  $f$  подается на вход регулятора, где сравнивается с заданным значением  $f_0$ . Отклонение  $\Delta f = f - f_0$  воздействует на регулятор агрегата.

В третьей главе показано, что в объединенной энергосистеме необходимо регулировать не только частоту, но и обменную мощность по межсистемной линии передачи. При этом закон регулирования должен формироваться как  $K_f \Delta f + K_p \Delta P_{обм} = 0$ , где  $K_f$  и  $K_p$  – коэффициенты усиления по частоте и обменной

мощности. Подобный закон регулирования называют регулированием частоты со статизмом по обменной мощности. Регулирование заканчивается, когда  $\Delta f = 0$  и  $\Delta P_{обм} = 0$ . Достоинством метода является то, что вторичное регулирование можно настроить так, что в действие приходят только регуляторы системы, где возникло изменение нагрузки. К недостатку метода следует отнести необходимость каналов связи для изменения обменной мощности. Частным вариантом регулирования частоты и обменной мощности является метод раздельного регулирования – в объединенной энергосистеме (Единой Энергосистеме России) выделяется станция, которая регулирует частоту  $\Delta f = 0$ . Все другие станции энергообъединения регулируют обменные мощности  $\Delta P_{обм} = 0$ . Динамика регулирования по этому способу получается хуже, чем при регулировании со статизмом по обменной мощности. Но в силу простоты метода он получил широкое применение. Метод регулирования раскрывает закономерность распределения нагрузки между станциями в установившемся режиме. Большой интерес представляет динамика регулирования. Этой проблеме уделяется недостаточное внимание. Этот пробел восполняется исследованиями в главе 4.

В четвертой главе диссертации проведены исследования переходного процесса в энергосистеме на математической модели, созданной в программе Simulink на ЭВМ с учетом действия АРЧМ при колебаниях нагрузки в энергосистеме. Возмущение прикладывается в заданной точке структурной схемы модели. При этом регистрируется выходной сигнал этого блока, имитирующий изменение частоты и обменной мощности на ЛЭП.

Математические модели обеспечивают быстрый переход от решения одной задачи к другой, легко позволяя провести регулирование параметров исследуемой системы в сравнительно широких пределах. На ЭВМ реализованы исследования влияния изменения этих параметров на переходный процесс. Результаты этих исследований приведены в четвертой главе диссертации. Главные из них приведены в автореферате.

На примере энергообъединения из тепловых электростанций на рис.2 показаны осциллограммы переходного процесса: частота первой ЭС  $f_1(t)$ , второй ЭС  $f_2(t)$  и обменная мощность  $P_{обм}(t)$ . Дадим краткое пояснение к этим осциллограммам. Возмущение приложено к первой энергосистеме. Поэтому частота этой системы быстро снижается сначала по экспоненте, а затем идет колебательный переходный процесс до установившегося значения. Несколько

иначе протекает процесс снижения частоты во второй энергосистеме. Для первой энергосистемы обменная мощность будет иметь знак дополнительной генерации. Эта же мощность является дополнительной нагрузкой для второй системы. Этот процесс идет с запаздыванием. Вот почему снижение частоты во второй энергосистеме вначале идет с некоторой задержкой. В установившемся режиме действием первичного регулятора частоты  $f_1$  и  $f_2$  выравниваются.

Процесс изменения обменной мощности также носит колебательный характер. В установившемся режиме изменение нагрузки  $\Delta P_{н1} = 3\%$  делится поровну между двумя энергосистемами, поэтому  $\Delta P_{обм.уст}$  – установившаяся обменная мощность – составляет 1,5 %.

Пусть  $\Delta P_{н1} = 3\%$ , а  $\Delta P_{обм.уст} = 1,5\%$ . Если пропускная способность межсистемной линии передач составляет всего  $0,1P_{сист1}$ , то в относительных единицах к установленной мощности ЛЭП отклонение  $\Delta P_{обм.уст*}$  составит  $\Delta P_{обм.уст*} = 15\%$ . Учтем колебательность переходного процесса  $\Delta P_{обм}(t)$ . Тогда для максимального отклонения обменной мощности получим  $\Delta P_{обм.мах} = 30\%$  от мощности межсистемной ЛЭП. Если до возмущения линия была достаточно загружена, то изменение обменной мощности на +30% может привести к потере динамической устойчивости. Перейдем теперь к регулятору «частота-мощность» при включении вторичных регуляторов. Осциллограммы  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  и  $P_{обм}(t)$  для этого случая показаны на рис.2б.

Однако, вторичное регулирование практически не влияет на начальный характер переходного процесса.

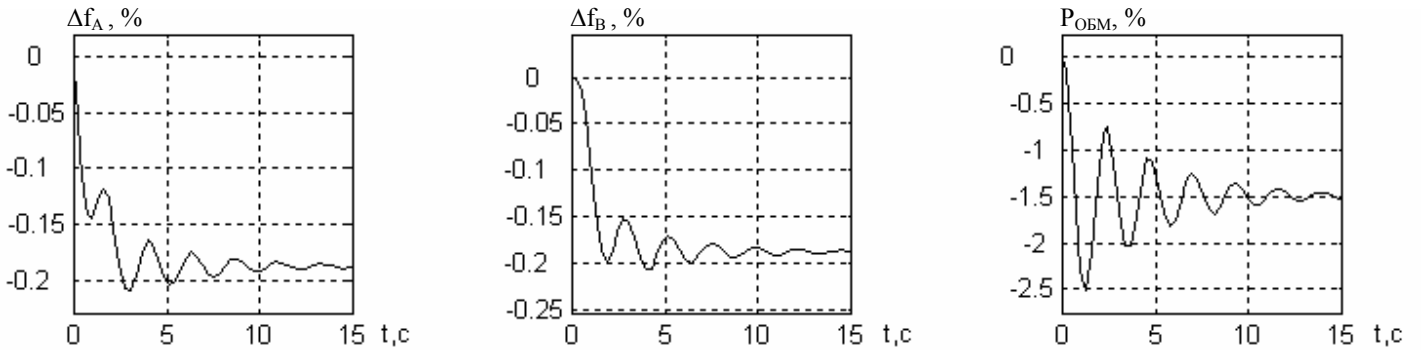
Рассмотрим смешанные энергообъединения – одна из энергосистем состоит из тепловых электростанций, другая – полностью состоит из гидростанций. Структурная схема математической модели остается прежней. Следует заменить лишь передаточные функции турбогенератора и первичного регулятора частоты вращения. Для гидротурбины передаточная функция была получена в виде

$$W(p) = \frac{-T_{вв} p + 1}{0,5T_{вв} p + 1} \cdot$$

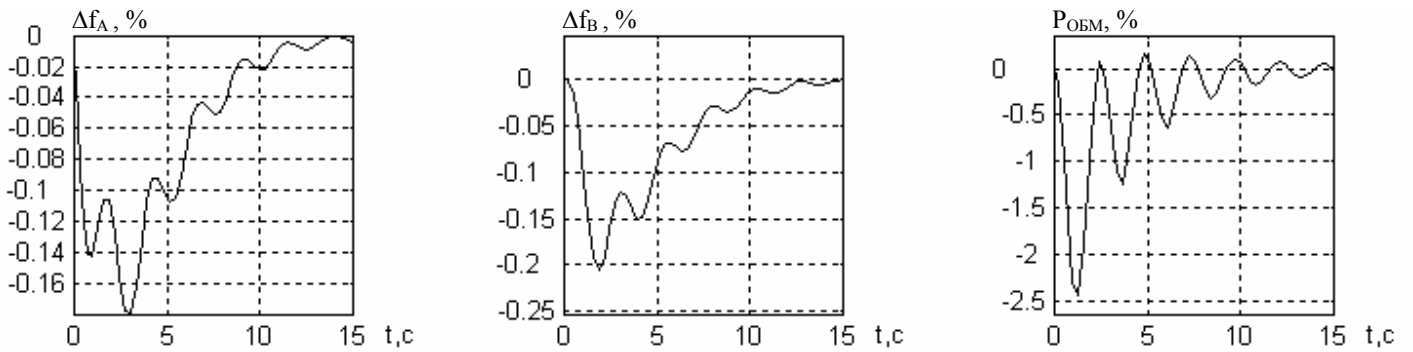
В регуляторе гидроагрегата используется комбинированная обратная связь с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{\beta T_{н} p + \nu}{T_{н} p + 1} \cdot$$

Методика проведения эксперимента на модели остается прежней – на входе энергосистемы создается возмущение  $\Delta P_H$ , в переходном режиме фиксируется величина  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  и  $P_{обм}(t)$ .



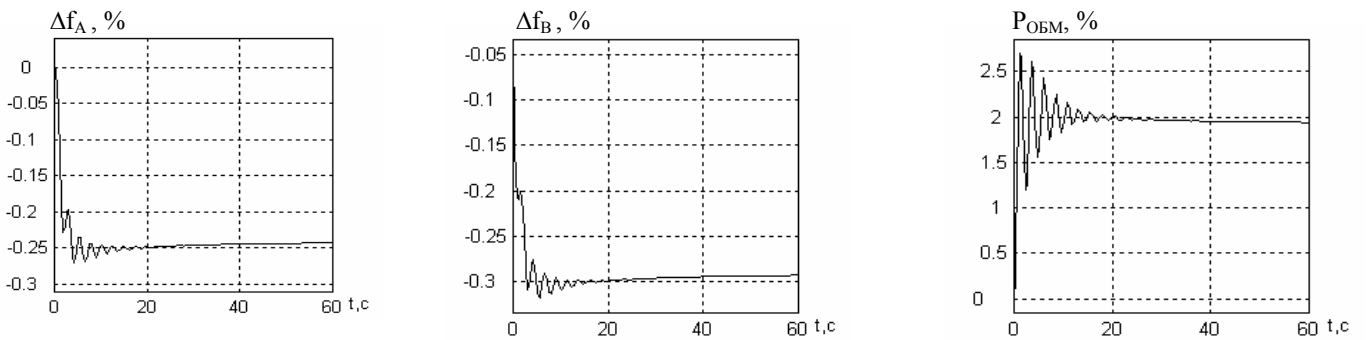
(а)



(б)

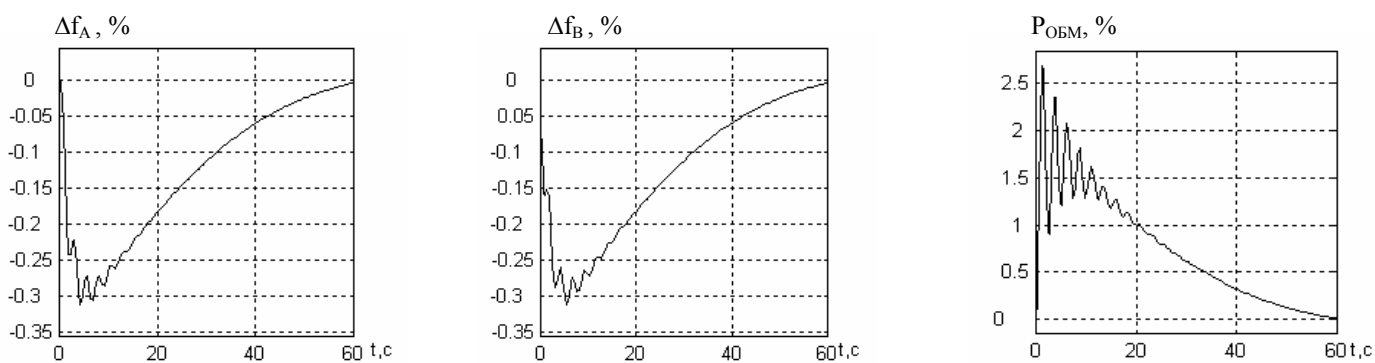
Рис.2. Переходные процессы в энергообъединении а) при отсутствии и б) наличии вторичного регулирования.

Первый эксперимент проведен при возмущении на входе гидроэнергосистемы. Результаты эксперимента показаны на рис.3.



(а)





(б)

Рис.3. Осциллограммы переходного процесса в смешанной гидро/ тепло энергосистеме. Нагрузка  $\Delta P_H$  приложена на входе гидроэнергосистемы при отсутствии а) и наличии б) вторичного регулирования.

На рис.4 представлены осциллограммы  $P_{обм}(t)$  при возмущении  $\Delta P_H=3\%$  в первой энергосистеме и разном статизме  $S_1=S_2=S_{вар}$ . Таким образом, статизм характеристики  $f(P)$  определяется величиной коэффициента усиления – чем больше  $K_{рег}$ , тем меньше статизм  $S$ .

Увеличение  $K_{рег}$  сначала уменьшает запас устойчивости, а затем приводит к нарушению устойчивости. Осциллограммы получены при отсутствии вторичного регулятора. При статизме  $S>3,0\%$  процесс идет со значительным перерегулированием – толчок нагрузки приводит почти к двойному и выше (по отношению к  $P_{обм.уст.}$ ) значению броска обменной мощности, что свидетельствует о трудностях снижения перерегулирования за счет первичного регулятора. Бросок обменной мощности снижается при  $S<3\%$ . Если  $S=1\%$ , то система автоматического регулирования становится неустойчивой. Получить общесистемный статизм  $S \cong 2\%$  практически невозможно.

Примечательно то, что ни первичный регулятор, ни тем более вторичный, не успевают сколько-нибудь заметно повлиять на начальный характер переходного процесса  $P_{обм}(t)$ . Очевидно, необходимы нетрадиционные способы демпфирования колебаний обменной мощности, такие, как импульсное отключение нагрузки и аварийное снижение генерации на ТЭС за счет импульсного воздействия через ЭГП на регулятор частоты вращения турбины. Проблема демпфирования колебания обменной мощности становится весьма

актуальной для ЕЭС России в связи с предполагаемой параллельной работой с энергосистемами Западной Европы.

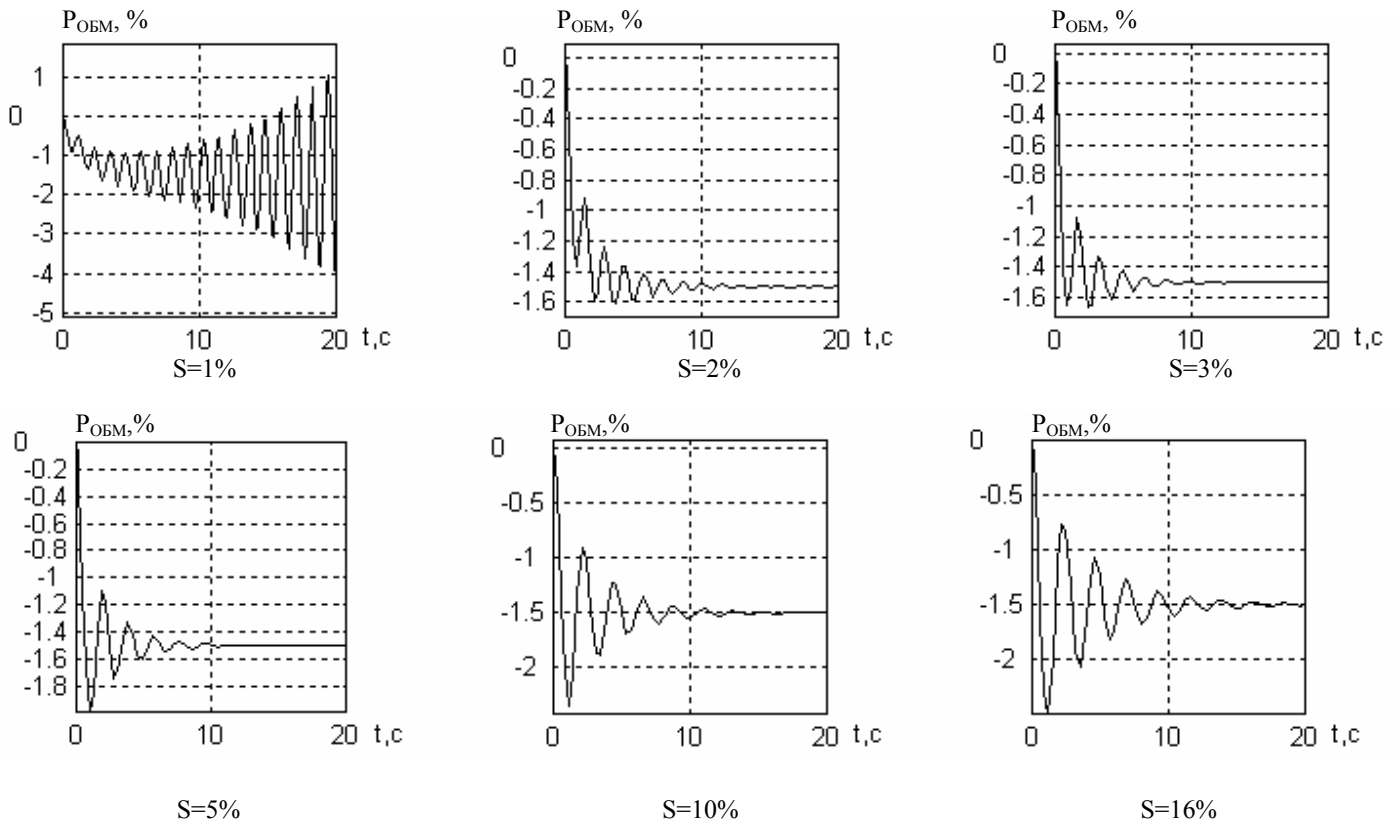


Рис.4. Переходные процессы  $P_{обм}(t)$  при возмущении в первой энергосистеме без вторичного регулирования и разном статизме  $S_1=S_2=S_{вар}$ .

Импульсное отключение нагрузки это вынужденное решение по стабилизации величины обменной мощности на межсистемных линиях передачи. Идея демпфирования обменной мощности за счет нагрузки очень простая – в случае возникновения толчка нагрузки в энергосистеме производят отключения потребителей с целью компенсации первоначального возмущения. Если отключить потребителей в тот же момент, когда возникает дополнительная нагрузка, то произойдет полная компенсация воздействия и никаких последствий для обменной мощности на межсистемной линии передачи не возникнет. При задержке компенсационного воздействия возникнут определенные последствия, поэтому быстрдействие отключения потребителей является одним из главных показателей противоаварийной автоматики. Цель отключения нагрузки – снизить максимальное

отклонение обменной мощности  $P_{обм.мах}$ . Для выявления возмущения и отключения нагрузки требуется время  $\tau_{откл}$ , поэтому демпфирующее воздействие по отключению нагрузки на  $\Delta P_H$  производится с запаздыванием на  $\tau_{откл}$ . Очевидно, что при  $\tau_{откл}=0$  произойдет полная компенсация возмущения. На моделях произведены эксперименты с разными значениями  $\tau_{откл}$ , равными 0,1;0,2;0,3;0,4 с. Осциллограммы переходного процесса представлены на рис.5. На осциллограммах видно положительное влияние отключения нагрузки. Чем меньше  $\tau_{откл}$ , тем значительнее эффект воздействия на нагрузку.

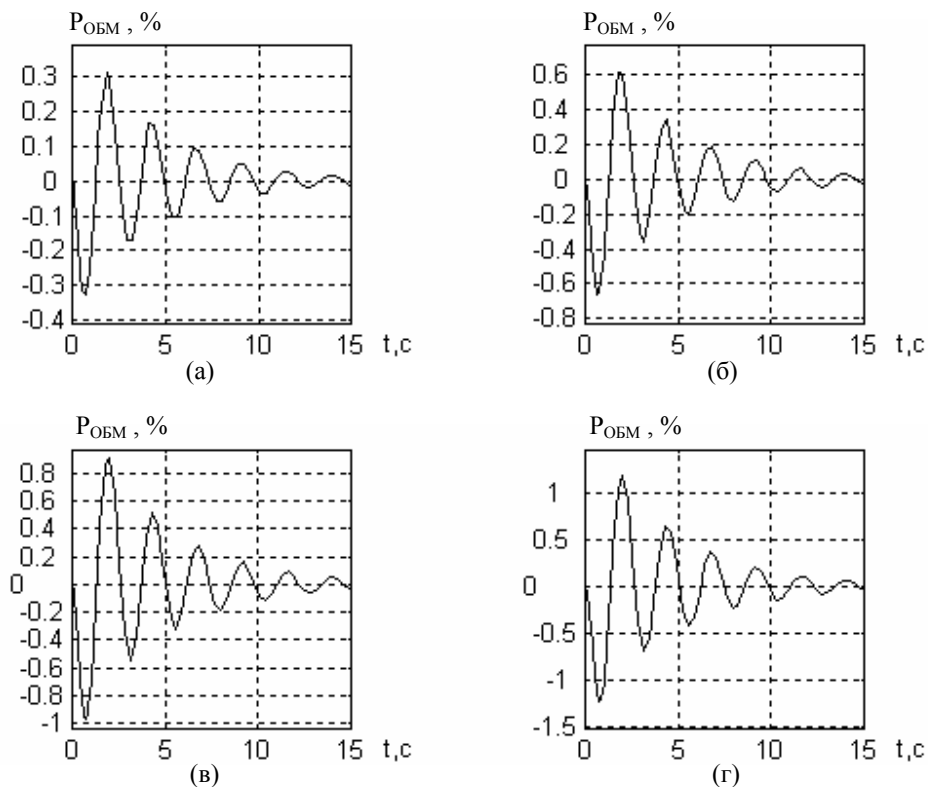


Рис.5. Переходные процессы  $P_{обм}(t)$  при возмущении в первой энергосистеме и отключении потребителей с задержкой а)  $\tau_{откл}=0,1$  с ; б)  $\tau_{откл}=0,2$  с; в)  $\tau_{откл}=0,3$  с; г)  $\tau_{откл}=0,4$  с.

После прохождения  $P_{обм.мах}$  нагрузку следует включить заново в момент времени  $\tau_{вкл}$ , поскольку дальнейшее течение процесса  $P_{обм}(t)$  не приводит к перегрузке межсистемной ЛЭП. Таким образом производится импульсное отключение нагрузки с момента  $\tau_{откл}$  до  $\tau_{вкл}$ . Время отключенного состояния потребителя составит  $\Delta\tau = \tau_{вкл} - \tau_{откл} = 0,6-0,8$ с. Осциллограммы переходного

процесса  $P_{обм}(t)$  при действии импульсной разгрузки показаны на рис.6. Для всех осциллограмм время отключения нагрузки составляет  $\tau_{откл.}=0,2$  с. Повторно нагрузку следует включать в зоне максимального снижения обменной мощности, т. е. при  $\tau_{вкл}=0,8 - 1,0$  с. Если включение нагрузки задержать, например сделать  $\tau_{вкл}=4 - 5$  с, то к этому времени основной переходный процесс  $P_{обм}(t)$ , вызванный аварийным возмущением в энергосистеме и импульсным отключением нагрузки, практически закончится. Импульсное повторное включение нагрузки воспримется как новое возмущение, что отражено на осциллограмме рис.6б. Для снижения этого негативного явления рекомендуется включение нагрузки производить постепенно, как это показано на рис.6в.

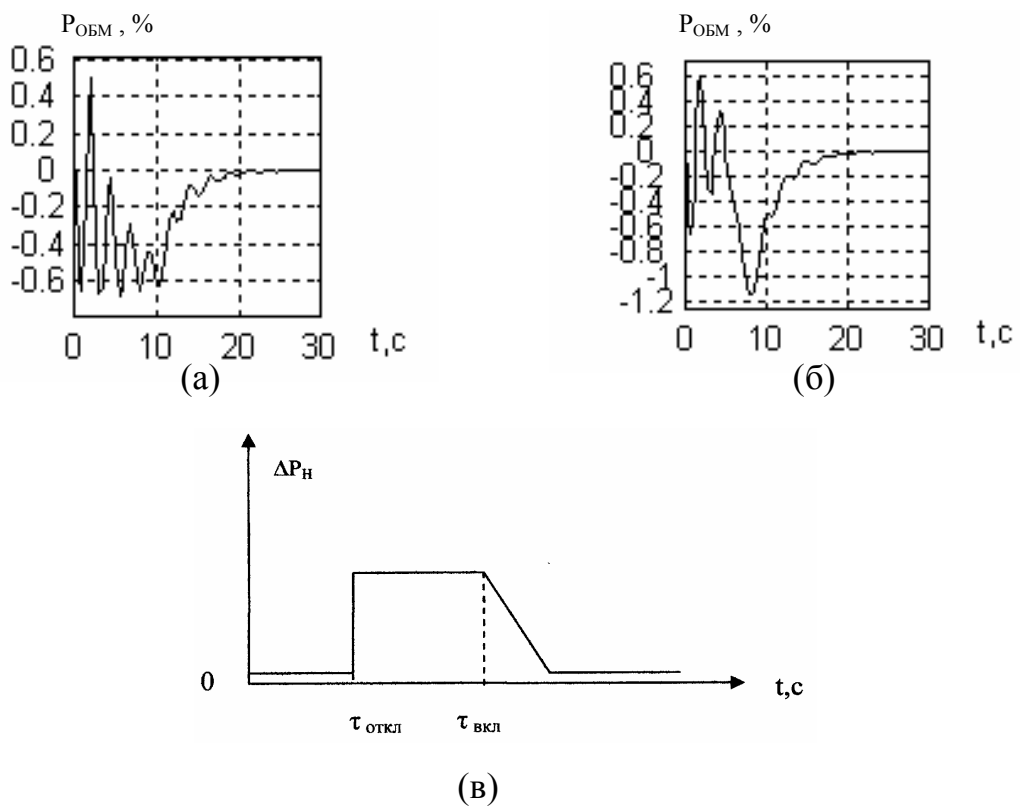


Рис.6. Переходный процесс  $P_{обм}(t)$  при действии ИОН.

$\tau_{откл}=0.2$ с;  $\tau_{вкл}=0.8$ с. рис.6а.

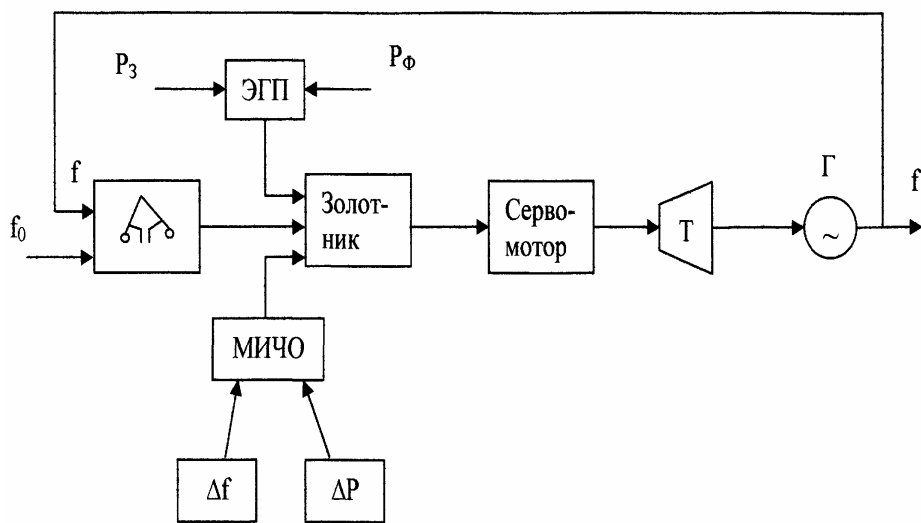
$\tau_{откл}=0.2$  с;  $\tau_{вкл}=5$ с. рис.6б.

Временной график ИОН.рис.6в.

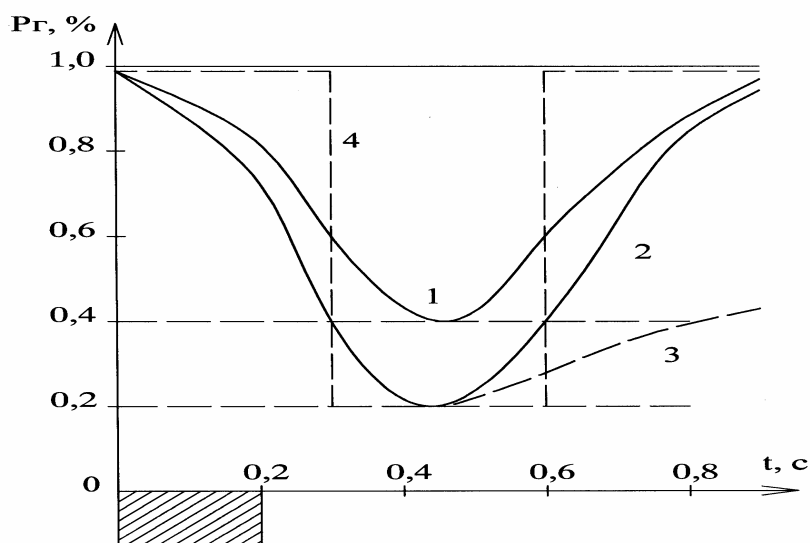
Обычное устройство изменения уставки регулятора частоты вращения является медленно действующим устройством и предназначено для изменения

мощности турбины (турбоагрегата) с малыми скоростями, удовлетворяющими ведение нормального режима. Механизм изменения числа оборотов (МИЧО) содержит в своем составе интегрирующий элемент. Электроприставка ЭГП обеспечивает быстрое введение информации на входе регулятора частоты вращения, обеспечивая тем самым достаточно быстрое снижение мощности турбоагрегата. Схема регулирования частоты вращения с подключенной приставкой ЭГП и так называемые импульсные характеристики агрегата представлены на рис.7.

За счет приставки ЭГП управляющее воздействие на регулятор подается сразу на золотник. Воздействие подается в виде импульса (см.рис.7б), регулируется ширина импульса (обычно  $t=0,2с$ ) и его интенсивность. Обычно демонстрируют интенсивность импульсов в виде неравномерности  $\gamma$ . В первом приближении  $\gamma \cong S$ , где  $S$ -статизм характеристики агрегата. Подъем характеристики на величину одного статизма приводит к увеличению мощности  $\Delta P_r=1,0$ . Характеристики 1 и 2 сняты при импульсном воздействии в 2 и 4 неравномерности. Характеристики 1 и 2 возвращаются к своему исходному положению. Характеристика 3 снимается при одновременном воздействии на ЭГП и МИЧО.



(a)



(б)

Рис.7. Схема регулятора частоты вращения с приставкой ЭГП (а) и импульсные характеристики турбоагрегата (б).

Эксперимент с действием на ЭГП представлен на рис.8, когда толчок нагрузки произведен в системе А. Противоаварийная автоматика через ЭГП действует на агрегат энергосистемы В. Произведен эксперимент с равными интенсивностями импульсивной разгрузки. На осциллограммах рис.8. представлены лишь некоторые из полученных осциллограмм, наглядно демонстрирующих положительное действие на обменную мощность аварийной нагрузки турбоагрегатов.

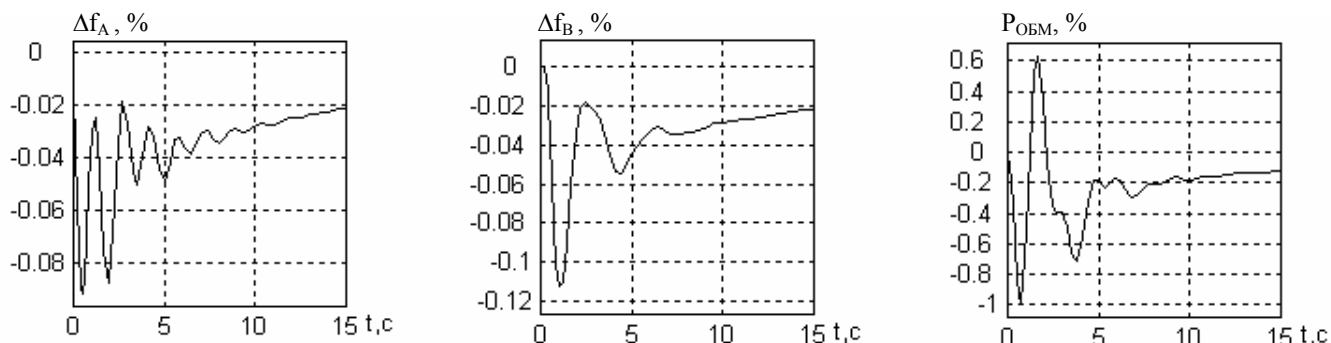


Рис.8. Переходные процессы в энергообъединении  $P_{обм}(t)$ ,  $\Delta f_A(t)$ ,  $\Delta f_B(t)$  с действием автоматики на ЭГП.

## ВЫВОДЫ

В рамках поставленной цели диссертационной работы разработана математическая модель объединенной энергосистемы и на её основе проведено исследование переходных процессов при регулировании частоты и обменной мощности. Сформулированы рекомендации по улучшению характеристик системы автоматического регулирования частоты и обменной мощности сверхмощных энергообъединений.

В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе решены следующие задачи.

1. Произведен обзор проблемы поддержания частоты на заданном уровне и демпфирование колебаний обменной мощности. Выявлено влияние отклонений частоты и величины обменной мощности на работу как объединенной энергосистемы (ОЭС), так и потребителей электроэнергии. При высоких значениях обменной мощности происходит потеря устойчивости между параллельно работающими энергообъединениями. Особо остро проблема проявляется в объединенных энергосистемах. Межсистемные линии передачи являются "слабыми" связями, пропускная способность которых лежит в пределах 5-10% от установленной мощности энергосистемы. В таком случае колебания нагрузки в энергосистеме в диапазоне  $\pm 1,0\%$  могут привести к большим отклонениям обменной мощности и привести к нарушению устойчивости на межсистемной ЛЭП. Вот почему при создании объединенных энергосистем (ОЭС) допустимое отклонение частоты уменьшают до  $\pm 0,1$  Гц. Процесс интеграции энергетических систем продолжается вплоть до настоящего времени, Созданы межгосударственные энергообъединения нескольких стран Европы, ставится вопрос о параллельной работе на переменном токе Единой Энергосистемы России (ЕЭС) с объединенной системой стран Западной Европы. В этой связи ставится задача регулирования частоты в России в пределах  $50 \pm 0,05$  Гц. Новая постановка проблемы выдвигает необходимость проведения дальнейших исследований в этой области и, в первую очередь, исследований динамики регулирования частоты и обменной мощности в сверхмощных энергообъединениях.

2. Для анализа переходных процессов разработана математическая модель турбо- и гидроагрегатов и энергосистемы. Данная модель реализована в программе Simulink среды программирования Matlab, что позволяет исследовать

переходные процессы при возмущениях в любой точке структурной схемы, то есть исследовать динамику изменения частоты и обменной мощности при изменении нагрузки для различных законов регулирования. Кроме изменения нагрузки системы рассматривается возмущение – изменение уставок первичного и вторичного регуляторов, их коэффициентов усиления и т.д. На ЭВМ создана модель вторичного регулирования. Это позволяет проводить исследования регулирования частоты и обменной мощности по любому закону управления этими величинами. Окончательно выбор закона управления осуществляется с учетом технических возможностей измерения обменной мощности.

3. Сделан вывод, что в объединенной энергосистеме необходимо регулировать не только частоту, но и обменную мощность по межсистемной линии передачи. При этом закон регулирования частоты должен осуществляться со статизмом по обменной мощности:

$$K_f \Delta f + K_p \Delta P_{обм} = 0 ,$$

где  $K_f$  и  $K_p$  – коэффициенты усиления по частоте и обменной мощности.

Регулирование заканчивается, когда  $\Delta f = 0$  и  $\Delta P_{обм} = 0$ . Достоинством метода является то, что вторичное регулирование можно настроить так, что в действие приходят только регуляторы системы, где возникло изменение нагрузки. К недостатку метода следует отнести необходимость каналов связи для измерения обменной мощности.

Частным случаем регулирования частоты и обменной мощности является метод раздельного регулирования, когда в объединенной энергосистеме выделяет станция, которая регулирует частоту  $\Delta f = 0$ . Все другие станции энергообъединения регулируют обменные мощности  $\Delta P_{обм} = 0$ . Динамика регулирования по этому способу получается хуже, чем при регулировании со статизмом по обменной мощности. Но в силу простоты метода он также рекомендован к использованию.

4. В расчетной практике недостаточное внимание уделяется проблеме динамики регулирования частоты и обменной мощности. В связи с этим на математической модели объединенной энергосистемы, состоящей из двух энергосистем, соединенных одной межсистемной ЛЭП, выполнены следующие эксперименты:

а) регулирование частоты и обменной мощности в ОЭС без вторичного регулирования;



б) регулирование частоты и обменной мощности в ОЭС при наличии вторичного регулирования;

в) анализ влияния статизма первичного регулятора на характер и длительность переходного процесса  $f(t)$  и  $P_{обм}(t)$ ;

г) анализ влияния коэффициентов усиления вторичного регулятора на процессы  $f(t)$  и  $P_{обм}(t)$ ;

д) анализ влияния места приложения нагрузки (возмущения) в смешанных энергосистемах на характер переходного процесса  $f(t)$  и  $P_{обм}(t)$ : рассматривается возмущение в энергосистеме, состоящей из ТЭС и ГЭС.

При этом исследования проведены для энергообъединения, состоящего из двух тепловых энергосистем, а затем и для смешанного объединения, каждая система которого состоит из ТЭС и ГЭС. По результатам перечисленных экспериментов сделаны следующие выводы.

5. Переходный процесс  $f(t)$  и  $P_{обм}(t)$  носит колебательный характер. За счет этого возможны значительные броски обменной мощности относительно ее установившегося значения. Эти броски могут составлять почти двойное значение. Доказано, что ни первичный регулятор, ни тем более вторичный, не успевают сколько-нибудь заметно повлиять на начальный характер переходного процесса  $P_{обм}(t)$ .

Отсюда следует, что для ограничения бросков обменной мощности в начальной стадии переходного процесса необходимо применять нестандартные способы воздействия на энергосистему:

а) воздействие на первичный регулятор частоты вращения через электрогидравлическую приставку (ЭГП);

б) импульсное отключение нагрузки (ИОН).

6. Проведены исследования переходного процесса при воздействии противоаварийной автоматики на турбину через ЭГП или отключение нагрузки. Показана эффективность подобной автоматики, что позволяет рекомендовать ЭГП и ИОН к практическому применению.

Как показал анализ переходных процессов, первостепенное значение имеет быстрое действие автоматики через ЭГП и ИОН.

7. Повторное включение нагрузки после ИОН должно носить постепенный характер. В последнем случае колебания обменной мощности получаются ниже, а сам переходный процесс заканчивается быстрее, чем при мгновенном включении.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- 1) Ришаг Х. Т. Регулирование частоты и обменной мощности в объединенных энергосистемах / Ришаг Х. Т., Павлов Г. М. // Материалы XXXII межвузовской научно-технической конференции. Часть II. – СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2004. – С. 33.
- 2) Ришаг Х. Т. Демпфирование колебаний обменной мощности / Ришаг Х. Т., Павлов Г. М. // Материалы XXXIII межвузовской научно-технической конференции. Часть II. – СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2005. – С.9-10.

---

Подписано в печать 24.02.2005. Формат 60x84/16. Печать офсетная.  
Уч. печ. л. 1,0 . Тираж 100 .Заказ 89 .

---

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного автором,  
в типографии Издательства Политехнического университета.  
195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.