

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ, СЕТИ И СИСТЕМЫ»

*На правах рукописи*

**ОРТИКОВ ШЕРЗОД ЮСУФЖОНОВИЧ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ПОВЫШЕНИЯ  
УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРИ  
РЕГУЛИРОВАНИИ ЧАСТОТЫ**

***ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА***

на соискание степени бакалавра по направлению  
5520200-«Электроэнергетика»

Зав. кафедрой

доц. Радионова О.В.

Руководитель

ст.пр. Нестерова Г.А.

Ташкент -2014 г

## **Аннотация**

Ушбу битирув малакавий ишида замоновий электроэнергетик системада унинг статик турғунлик даражасини белгилайдиган режим параметрларидан бири частотани автоматик ростлаш масаласи қаралган. Чунки бу масала хозирги кунда ташкил этилган бирлашган энергосистемаларда ҳар хил сабабларга кўра содир буладиган актив қувват нобалансида частотани ростлаш масаласи қаралган.

# Мундарижа

бет

<b>I. ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Состояние проблемы и постановка задачи.....</b>	<b>5</b>
<b>II. АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГОСИСТЕМ.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Статическая характеристики по частоте.....</b>	
14	
<b>2.2. Динамические характеристики энергосистеме при изменении частоты.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3. Автоматическое регулирование и обменных мощностей.....</b>	<b>38</b>
<b>2. 4. Некоторые вопросы анализа изменения перетоков мощности ..</b>	
45	
<b>III. НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ЧАСТОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ .....</b>	<b>53.</b>
<b>3.1. Общая характеристики проблемы.....</b>	
53	
<b>3.2. Расчет аварийного режима электрической системы при внезапных небалансах активной мощности.....</b>	<b>60</b>
<b>IV. БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНEDЕЯТЕЛЬНОСТИ.</b>	
<b>Введение.....</b>	
V. Экология и охрана окружающей среды .....	

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....**

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....**

### **I. Введение**

#### **характеристика, современное состояние проблемы и постановка задачи**

Мощная электроэнергетическая система – характерная, искусственно созданная большая система, организация управления которой является сложнейшей научно – технической проблемой. Объединение энергосистем создает возможность повышения надежности и экономичности энергоснабжения потребителей, но реализация этих возможностей требует создания эффективной системы управления режимами.

Энергосистема, как объект регулирования подвергается возмущением, и в этих условиях требуется обеспечить нормальных и экономически выгодных параметров ее работы, по этому, она оснащается множеством регулирующих устройств.

Автоматическое регулирование частоты позволяет не только повышения качество регулирования частоты на одной станции, но и вести одновременное регулирование частоты на ряде электростанций.

Создание крупных энергообъединений приводит к тому, что связи между отдельными энергосистемами линией электропередач (ЛЭП) имеющей пропускную способность не более 15 - 25% мощности меньшей системы, возникают задачи проверки устойчивости слабой связи,

обеспечения неизменных потоков мощности на слабых соединительных линиях и совместного регулирования частоты в объединяемых системах. Обеспечение достаточных запасов устойчивости по мощности, по напряжения и по частоты является необходимым условиям для надежной работы связанных систем. Колебания частоты и потоков мощности на линиях связи приводят к колебаниям напряжения и снижению качества отдаваемой электрической энергии.

Если бы каждая из объединенных систем могла мгновенно регулировать свою мощность, таким образом, чтобы генерация точно соответствовала нагрузке, то тогда частота в системах оставалась бы постоянной, и обмен происходил бы по установленной программе. На практике такие реакции  $P_G$  и  $P_{\text{нач}}$  не возможны, и поэтому в системе происходят колебания обменной мощности и частоты, а регулирование происходит постепенно с опозданием. Точности регулирования частоты и обменной мощности связаны между собой.

Если бы каждая из объединенных систем могла мгновенно регулировать свою мощность, таким образом, чтобы генерация точно соответствовала нагрузке, то тогда частота в системах оставалась бы постоянной, и обмен происходил бы по установленной программе. На практике такие реакции  $P_G$  и  $P_{\text{нач}}$  не возможны, и поэтому в системе происходят колебания обменной мощности и частоты, а регулирование происходит постепенно с опозданием. Точности регулирования частоты и обменной мощности связаны между собой.

Для крупных объединенных энергосистем отклонения обменной мощности от запланированного значения достигают максимальной границы до того, как изменения частоты станут заметными. Поэтому требуемая точность регулирования обменной мощности в линиях, и обмена в общем определят характеристики регулирующих устройств.

Анализ изменений обмена мощности в линиях межсистемной связи показывают, что на запланированные величины обмена накладываются колебания мощности различных частот, разделяемых на два типа:

1. Колебания с периодом менее 1 мин, состоящие в основном из отдельных колебаний с периодом в несколько сек. Эти колебания обычно не угрожают устойчивости объединений, поэтому уничтожение их с помощью соответствующего регулятора было бы неоправданным.

2. Колебания с периодом более 1 мин, связанные с действительными компенсирующими обменами мощности между системами. Амплитуда этих колебаний зависит от характеристики нагрузок объединенных систем, от величины их регулирующих мощностей и скорости, действия и точности оборудования, применяемого для поддержания запланированных обменных мощностей

Процесс автоматического регулирования частоты после внезапного изменения нагрузки можно идеализированно представить в виде трех следующих отдельных процессов:

а) в первый момент внезапного увеличения нагрузки потребителей частота не успевает измениться; регуляторы скорости и частоты не действуют, прирост нагрузки распределяется по отдельным агрегатам системы в соответствии с величинами ЭДС и их фазовыми углами и реактивными сопротивлениями цепи; при постоянстве мощности, развиваемой первичными двигателями, дополнительная нагрузка покрывается за счет кинетической энергии вращающихся масс системы, что приводит к некоторому торможению агрегатов; вследствие неравномерности этого процесса возникают изменения относительных углов, чему противодействуют синхронизирующие силы; последние обеспечивают одинаковое уменьшение скорости у всех генераторов, т.е. снижение частоты по всей системы;

б) как только отклонение частоты превосходит зону нечувствительности регуляторов скорости первичных двигателей (имеющих

порядок 0.05% -для паровых турбин и 0.02% - для гидротурбин), регуляторы скорости начинают действовать; вследствие инерционности регуляторов действие их сказывается с известными запозданием (порядка 1 – 2 сек для паровых турбин и 10 – 15 сек для гидротурбин); в результате их действия будет изменяться впуск энергоносителя во все первичные двигатели, имеющие регулировочные возможности, и частота начнет повышаться;

в) как только отклонение частоты превосходит зону нечувствительности автоматического регулятора частоты АРЧ (порядка 0.02%), регулятор частоты начинает смещать характеристику регуляторов скорости первичных двигателей, но так как скорость смещения относительно невелика, то процесс регулирования занимает 30 – 40 сек и продолжается до тех пор, пока не восстановится нормальная частота.

АРЧ представляет собой устройство, действующее при отклонении частоты на механизм первичного регулятора, т.е. регулятора скорости и ограничителя открытия. Для того чтобы процесс регулирования был устойчивым и не было излишних колебаний частоты, скорость смещения характеристики первичных регуляторов должна быть пропорциональна отклонению частоты. Чувствительность регулятора должно быть очень большой; при этом нерегулярные отклонения частоты будут в должной мере ограничены. Быстропротекающие колебания частоты с малой амплитудой практически не вызывают изменения нагрузки агрегатов вследствие инерционности механизмов регулирования первичных двигателей.

При действии регуляторов частоты на несколько агрегатов для правильного распределения нагрузки между ними применяются так называемые уравнительные мощности, в которых сравнивается фактическая нагрузка агрегата с долей суммарной нагрузки всей станции, заданной данному агрегату. В случае несоответствии этих нагрузок действие регулятора на данный агрегат временно прекращается.

Особые задачи возникают в случае необходимости параллельной работы АРЧ на нескольких станциях. Для устойчивости и определенности

регулирования приходиться вводить так называемое статические регулирование частоты со статизмом по мощности станции.

При внезапном изменении частоты нагрузка каждой из регулирующих станций начинает изменяться. Если станция изменяет нагрузку так, что заданная ей доля суммарной нагрузки регулирующих станций ею покрывается, то ее регулятор частоты работает как астатический. Этому отвечает равенство нулю второго члена уравнения. Изменения нагрузки этой станции продолжаются до тех пор, пока  $\Delta f$  не станет равным нулю. Если же при снижении частоты ( $\Delta f < 0$ ) одна из станций берет на себя большую долю нагрузки, чем ей полагается, то какие – либо другие станции обязательно берет меньшую долю нагрузки. В этом случае скорости смешения характеристик первичного регулятора и возрастания нагрузки первой станции будут пониженными, так как первый член тоже отрицателен. Наоборот, у тех станций, которые имеют нагрузку меньше назначенной им доли, второй член (8) тоже отрицателен, т.е. скорость роста нагрузок на этих станциях будет увеличенной. По этому через некоторое время мощность каждой станции приближается к заданной доле суммарной мощности.

Таким образом, метод мнимого статизма представляет собой как бы метод статического регулирования, но с изменяемым значением заданной мощности, т.е. со смешением характеристики. Недостаток данного метода, заключающейся в необходимости на каждую из регулирующих частоту станций передавать суммарную нагрузку всех регулирующих станций. Это требует сооружения сложных телеканалов связи и применения устройств телеизмерения.

Регулирование частоты по отклонениям электрического времени во многих случаях оказывается проще так как не требует специальных каналов для телеизмерения, хотя и требует установки устройств, измеряющих отклонение электрического времени.

Применение астатической настройки регуляторов частоты на одной станции и статической – на всех остальных не обеспечивает полностью

регулирования частоты в системе в нормальном режиме, так как в конце концов все изменение нагрузки ложиться только на станцию с астатическим регулятором частоты. Если регулировочный диапазон этой станции будет использован, то частота будет отклоняться от номинального значения. Если же станция с астатическим регулятором частоты имеет достаточный диапазон регулирования, то в условиях нормального режима вообще нет необходимости в установке статических регуляторов частоты на других станциях. Такая постановка вопроса справедлива лишь для нормального режима. В после аварийном режиме при потере значительном мощности станции с астатическим регулятором частоты должна быть обязательно обеспечена быстрая автоматическая помощь других станций.

Опыт работы объединений энергосистем указывает целесообразность автоматизации регулирования обменных потоков мощности в слабых межсистемных связях. Отсутствие автоматизации приводит к необходимости непрерывного утомляющего персонал наблюдения за показанием телеваттметров, измеряющих обменный поток активной мощности; в связи с этим возможны неправильные действия персонала, вызывающие перерегулирование частоты и обменных потоков мощности, что может привести к перегрузке межсистемных связей и их отключения.

Естественными критериями регулирования представляется:

- для системы регулирующей частоту, - астатический критерий  $\Delta f = 0$ ;
- для системы, регулирующей обменный поток мощности, - астатический критерий  $\Delta P_{об} = 0$

Однако теория и опыт показывают, что такой выбор критериев не всегда является удачным, так как при этом АРЧ (в первой системе) и мощности (во второй системе) могут действовать не согласованно, а противодействуя друг другу, что могут привести к неустойчивому или медленно затухающему процессу регулирования и вызвать задержку процесса регулирования, излишние качания генераторов или даже нарушение устойчивости

При увеличении суммарной нагрузки в энергетической системе, регулирующей частоту, происходит снижение частоты во всем объединении. Действие первичных регуляторов скорости приводит к увеличению нагрузки генераторов всех станций ЭЭС. В связи с этим обменный поток мощности из соседней (второй) энергетической системы возрастает. АЧР данной (первой) системы, реагирующие только на снижение частоты, будут увеличивать мощность первичных двигателей ведущих электростанций. Однако автоматические регуляторы обменного потока мощности второй энергетической системы, реагирующие только на увеличение обменного потока мощности начнут уменьшать мощность первичных двигателей ведущих станций второй энергетической системы. Частота в объединении может уменьшиться или увеличиться в зависимости от того, с какой скоростью будут работать противодействующие друг другу вторичные автоматические регуляторы ведущих станций обеих систем. В частности может оказаться, что частота будет еще снижаться из-за более интенсивной разгрузки ведущих станций второй энергетической системы, но из-за этой разгрузки обменный поток также будет снижаться.

По мере его снижения интенсивность разгрузки ведущих станций второй системы будет снижаться и более эффективно начнут нагружаться ведущие станции первой энергетической системы, регулирующей частоту. Это вызовет рост частоты и как следствие снижение обменного потока мощности, так как регуляторы скорости станций второй энергетической систем, будут разгружать все станции. Теперь автоматические регуляторы обменного потока мощности начнут увеличивать нагрузку ведущих станций второй энергетической системы. Частота не только может быть поднята до нормального значения, но может оказаться больше нормального. Тогда ведущие станции первой системы начнут разгружаться.

Автоматическое регулирование частоты и обменных потоков мощности по критериям со статизмом или для регулирующей энергетической системы по критерию, предполагающему астатическую работу  $\Delta f = 0$ , внутри

данной энергетической системы возлагается на одну или ряд ведущих станций. Для обеспечения устойчивости регулирования каждая из этих станций должна работать по критерию регулирования со статизмом по собственной мощности станции.

Рассмотрим взаимосвязь между значениями частоты и перетоков мощности и возмущающими воздействиями (небалансами активной мощности) в сложном энергообъединении произвольной конфигурации, в котором вторичные регулирование частоты и активной мощности отсутствует. Энергообъединение состоит из нескольких энергосистем, каждая из которых характеризуется передаточной функцией  $W_i = \Delta f_i(p)/\Delta P_{H_B}(p)$ , связывающей отклонение частоты с небалансом активных мощностей в энергосистеме при ее изолированной работе. Принимаем следующие допущения: каждую энергосистему считаем концентрированной и представляем одним эквивалентным генератором; напряжение эквивалентного генератора каждой из энергосистем принимаем постоянным; небаланс мощности считаем приложенным к валу эквивалентного генератора.

Структурные и режимные особенности ЭС обусловливают особое значение задач автоматизации управления нормальными и аварийными режимами. Важнейшими среди них являются: повышение качества первичного регулирования частоты, развитие систем автоматического вторичного регулирования частоты и активной мощности систем противоаварийного управления. Для совершенствования систем и устройств автоматического управления, а также для выбора и определения их оптимальной настройки необходимо знать характеристики агрегатов электростанций, нагрузки энергосистем, ЭС в целом, влияющие на процессы управления в нормальных и аварийных условиях.

К основным структурным составляющим энергосистемы:

- надежность системы генерации – способность электростанций поддерживать требуемый баланс мощности при нормативном значении частоты;
- надежность основной электрической сети - способность устойчиво передавать мощность из частей энергосистемы с избытком мощности в части с дефицитом ее;
- надежность распределительной сети – способность этой сети осуществлять бесперебойное питание узлов.

При изменениях частоты в электрической системе, состоящей из ряда станций и нагрузок, можно рассматривать:

- а) быстрее и средние изменения частоты (мгновенные или текущие значения), происходящие при во время переходного процесса, связанные с изменением скорости генераторов, возникающие под влиянием небалансов вращающих моментов на валах генераторов;
- б) относительно медленные изменения частоты (средние значения), характерные для всей системы в целом, определяющиеся эквивалентной инерцией всех машин системы и действием регуляторов скорости и регуляторов частоты.

Целью данной выпускной работы является анализ статической устойчивости системы с учетом изменения частоты.

## **Заключение**

На основе проделенного расчетно теоретического анализа можно сделать следующие выводы:

1. Частота являясь качественным показателям вырабатываемой электрической энергии, еще она определяет устойчивость режима энергетической системы.
2. Из-за понижение частоты в энергосистемы снижается производительность технологических оборудований которая в результате приводит к уменьшение статической устойчивости системы.
3. Восстановление частоты всегда выполняется с помощью вторичного регулирования частоты.

## Список использованных литературы

1. Крачков И. П., Старшинов В. А., Гусев Ю. П. Пираторов М. В. Переходные процессы электроэнергетических системах, Издательство: Издательский дом МЭИ, 2008, 416с.
2. Аллаев Қ.Р. Электромеханик ўткинчи жараёнлар. Тошкент, ТашДТУ, 2007,- 277с .
3. Колентионек Е. В. Устойчивость электроэнергетических систем, Минск: Техноперспектива, 2008. – 375 с.
- 4 Андрею к В.А., Левит І.М.** Анализ эффективности систем автоматического регулирования межсистемных перетоков активной мощности с учетом случайного характера колебаний нагрузки объединенных энергосистем. - Изв. НИИПТ, 1968, № 14, с. 281-306.
- 5. Влияние** вида регулирования тепловых электростанций на переходный процесс изменения частоты в энергосистеме /Вонсович М.Я., Петряев Е.И., Родиньш М.А. и др. - В кн.: Доклады на II Всесоюзном научно-техническом совещании по устойчивости и надежности энергосистем СССР. М.: Энергия, 1969, с. 313-325.
- 6. Анализ** переходных процессов изменения частоты и перетоков мощности по межсистемным связям сложного энергообъединения с учетом влияния тепловых электростанций /Алексеев С.В., Машан- ский АЛ1., Рабинович Р.С. и др. — Изв. АН СССР. Сер. Энергетика и транспорт, 1978, № 5, с. 14-26.
7. Князевский Б. А., Долин П. А., Марусова Т. П. Охраны труда – М.: Высшая школа, 1982, 311 с., ил.
8. Лавров С. Б. Глобальные проблемы современности: часть 1. – СПб.: СПГУПМ, 1993. – 72с
9. Лавров С. Б. Глобальные проблемы современности: часть 2. – СПб.: СПГУПМ, 1995. – 72с