

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Чайковский филиал

Кафедра: Автоматизации, информационных и инженерных технологий
Направление подготовки: 15.03.04 -Автоматизация технологических
процессов и производств

Профиль: Автоматизация технологических процессов и производств в
машиностроении и энергетике

МП 12.8-2022

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРЕДПИСАНИЯ
к выполнению курсового проекта по дисциплине
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Составитель: Ковязина В.А.

Методические предписания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств» для студентов, обучающихся по программе бакалавриата по направлению 15.03.04 –«Автоматизация технологических процессов и производств» – Чайковский, 2022. - с. 22.

Изложены требования к содержанию, объёму и оформлению курсовых проектов по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств». Приведены методика расчета оценки динамических свойств автоматической системы регулирования частоты и перетоков мощности в объединенной энергосистеме при различных значениях настраиваемых параметров.

Предназначено для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению 15.03.04 –«Автоматизация технологических процессов и производств».

Рецензент :Ст. преподаватель Шергина М.А.

Методические предписания для студентов по выполнению курсового проекта рассмотрены и одобрены на заседании кафедры автоматизации, информационных и инженерных технологий ЧФ ПНИПУ «5» декабря 2022 года, протокол № 14.

Методические предписания к выполнению курсового проекта рекомендованы методической комиссией ЧФ ПНИПУ для использования в учебном процессе (протокол № 4 от 29.12.2022)

©Пермский национальный исследовательский
политехнический университет
Чайковский филиал, 2022
©Ковязин В.А., 2022

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Данные указания составлены применительно к курсовым проектам, выполняемым студентами, обучающимися по направлению подготовки 15.03.04 – «Автоматизация технологических процессов и производств», по профилю «Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении и энергетике». Основная цель пособия – оказать методическую помощь студентам при выполнении курсового проекта по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств».

Настоящие указания содержат задание на курсовой проект, который охватывает комплекс вопросов программы курса «Автоматизация технологических процессов и производств».

1.1 Цель и задачи курсовой работы

Целью курсового проекта является закрепление и углубление знаний, полученных студентами при изучении теоретического курса дисциплины «Автоматизация технологических процессов и производств».

В процессе работы над проектом студент приучается к рациональному использованию теоретических сведений и справочных материалов при решении вопросов оценки динамических свойств автоматической системы регулирования частоты и перетоков мощности в объединенной энергосистеме при различных значениях настраиваемых параметров в целом, получает навыки решения ряда задач, возникающих при проектировании систем автоматизации технологических процессов и производств. Работая над проектом, студент должен овладеть приемами использования полученных теоретических знаний при решении конкретных задач инженерной практики. Оформляя результаты работы над проектом, студент должен научиться четко и в краткой форме обосновать в пояснительной записке все принятые решения, технически грамотно оформлять графическую часть проекта.

1.2. Состав курсового проекта

Курсовой проект состоит из двух частей. В первой части проекта составляется структурная схема моделирования системы регулирования. Вторая часть проекта посвящена исследованию динамических свойств АСР.

В курсовой проект включаются:

- титульный лист;
- аннотация;
- содержание;
- введение;
- основное содержание работы (пояснительная записка);
- заключение;
- список использованной литературы;
- приложения;
- графическая часть.

1.3. Требования к оформлению пояснительной записки

Расчетная часть проекта выполняется в виде пояснительной записки в полном соответствии с ЕСКД.

Оформление и содержание курсового проекта должно отвечать требованиям действующих ГОСТов, норм, Правил устройства электротехнических установок, современной системе обозначения единиц (СИ). Работы оформляются на стандартных листах формата А4, заполненных с одной стороны через полтора интервала. Шрифт *Times New Roman* 14 пт междустрочный интервал 1,5. Выравнивание текста по ширине. Абзацный отступ 1,25 см. Заголовки выделяются полужирным. Латинские символы – курсивом. Для записи формул должен быть использован редактор формул (рекомендуется *MathType*).

Расчеты и данные к ним должны сопровождаться краткими пояснениями и ссылками на литературу. Ссылки на литературу производят в квадратных скобках, например [3], [7, §2.1], [6, кн. II, с. 215].

Формулам в тексте придается номер в круглых скобках, выровненных по правому полю страницы. Ссылки в тексте на порядковый номер формулы также даются в круглых скобках, например: «... ток плавкой вставки, вычисленной по формуле (28), ...».

При расчетах формулы сначала производятся в буквенном выражении, а затем в цифровом, после чего сразу пишется ответ. Многократно повторяющиеся расчеты приводятся один раз, а результаты сводятся в таблицы. Небольшие таблицы располагают за абзацем, где была сделана ссылка на таблицу. Таблицы, занимающие больше половины страницы, выносятся на следующий отдельный лист. Ссылки в тексте на таблицы дают в сокращенном виде: табл. 1, табл. 5.2. В самой таблице, в верхнем левом углу указывают номер и название таблицы: Таблица 1 – ., Таблица 5.2 – ...

Сокращение слов в таблицах не допускается.. Таблицы должны быть обязательно разлинованы по вертикали.

Текст должен быть лаконичным, логически связанным, расчеты после подробного изложения примера сводятся в таблицы указанной формы. Следует избегать изложения общеизвестных положений, например, по конструкции, принципу действия устройств и т. п.

В пояснительной записке должны быть приведены рисунки и схемы, иллюстрирующие суть изложения. Формулы должны быть вписаны аккуратно.

Список литературы приводится в конце работы и оформляется строго в установленной форме.

Объем пояснительной записки должен составлять 20–30 страниц, выполненных на белой писчей бумаге формата А4.

Перечень вопросов, подлежащих рассмотрению в курсовом проекте, а также примерные сроки их выполнения приведены в задании (прил. 1).

1.4 Требования к оформлению графической части проекта

Графическая часть курсового проекта содержит 1 лист формата А1, где размещаются: структурная схема АСР и схема модели системы в МВТУ 3.7.

На структурной схеме в соответствии с действующими ГОСТами ЕСКД и [1] изображаются основные блоки АСР, на модели приводятся типы блоков и приводятся параметры основных блоков.

1.5 Защита курсового проекта

Полностью оформленные материалы проекта представляются студентом руководителю в сроки, установленные графиком проектирования для курсового проекта. После проверки, а при необходимости и после доработки, проект представляется к защите. Защита курсового проекта происходит в присутствии комиссии в составе трех человек – руководителя проекта и преподавателей дисциплин цикла. При защите студент должен сделать краткий доклад по результатам работы и ответить на предложенные ему вопросы.

Курсовой проект предъявляется до зачетной недели.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Курсовой проект выполняется по теме «Автоматическое регулирование частоты и перетоков мощности в объединенной энергосистеме» Исходные данные для проектирования и исследования АСР частоты и перетоков мощности

В объединенной электроэнергетической системе (ОЭС) есть несколько взаимно связанных электроэнергетических систем (ЭЭС). В каждой из ЭЭС установлены АСРЧМ со статизмом по перетеканию мощности в линиях связи [2], которые обеспечивают совместное регулирование частоты и перетекание мощности. Закон регулирования для каждой ЭЭС имеет вид:

$$\Delta f + k_n(P_{пер} - P_{пер,нр}) = \Delta f + k_n \Delta P_{пер},$$

где k_n – коэффициент, определяющий соответствие регулирующих воздействий, $P_{пер, нр}$ - предложенное значение мощности перетока.

Для каждой ЭЭС закон реализуется с учетом знака мощности перетекания. Реализация этого закона регулирования может осуществляться как по мгновенным отклонениям частоты и мощности, так и по интегральной функции.

Изменением коэффициента k_n можно настроить АСРЧМ каждой ЭЭС, чтобы изменения нагрузки в данной ЭЭС покрывались изменением мощности только ее частоторегулирующими электростанциями. При этом будет иметь место автономность ЭЭС. Такая настройка достигается при коэффициенте k_n равном коэффициенту статизма данной ЭЭС.

Исследование переходных процессов, связанных с регулированием перетекания мощности невозможно при приведении энергосистемы к одному агрегату. Поэтому рассмотрим систему, состоящую из двух энергосистем в виде двух концентрированных частей, близких или одинаковых по мощности. Пусть части этой объединенной энергосистемы

имеют одинаковые номинальные мощности и одинаковые эквивалентные постоянные механической инерции T_J . Пусть также эти части одинаково нагружены, а перетекание между ними составляет небольшую долю их мощности. Тогда можно в линейном приближении записать уравнение движения в относительных отклонениях [1]:

$$\left. \begin{aligned} T_J p \omega_1 + k_n \omega_1 + \frac{\omega_0 A_c}{p} (\omega_1 - \omega_2) + \frac{\omega_0 A_d}{T_d p + 1} (\omega_1 - \omega_2) &= \Delta P_{n1}; \\ T_J p \omega_2 + k_n \omega_2 + \frac{\omega_0 A_c}{p} (\omega_2 - \omega_1) + \frac{\omega_0 A_d}{T_d p + 1} (\omega_2 - \omega_1) &= \Delta P_{n2}. \end{aligned} \right\} (1)$$

Вторые члены каждой строки соответствуют местной нагрузке энергосистемы, являются функцией частоты. Третьи члены - синхронной отдаваемой (получаемой) мощности по линии, связывающей части объединенной энергосистемы между собой. Четвертые члены определяют увеличение асинхронной мощности в каждой энергосистеме. Члены в правой части уравнения представляют собой возмущение по нагрузке, принятые не зависящими от частоты. Условие одинаковой загрузки ЭЭС позволило принять в (1) равенство коэффициентов регулирующего эффекта нагрузки k_n , а относительно малая величина перетекания - равенство коэффициентов A_d и T_d [10]. Все величины в (1) отнесены к мощности частей объединенной энергосистемы. Уравнению (1) соответствует структурная схема на рис. 1, где:

$$W_c(p) = \frac{\omega_0 A_c}{p} + \frac{\omega_0 A_d}{T_d p + 1}. \quad (2)$$

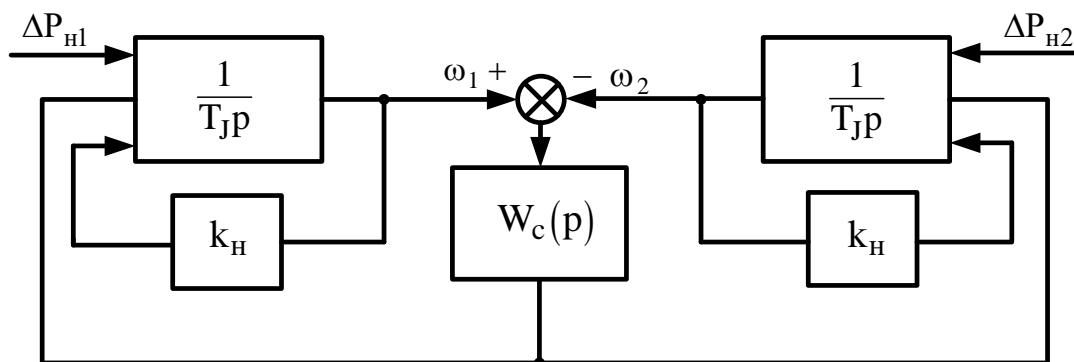


Рисунок 1 – Структурная схема нерегулируемой, объединенной энергосистемы

Уравнения (1) и схема на рис. 1 составлены исходя из предположения, что возмущение ΔP_H в начальный момент воспринимаются станциями только своей энергосистемы. В случае слабой связи между энергосистемами это практически соответствует действительности, так как возмущение сначала распределяется обратно пропорционально реактивностям, что связывают точку приложения возмущения с точками приложения ЭДС. Однако и во всех других случаях погрешность, имеет место только вблизи $t = 0$, не существенна при анализе процессов регулирования частоты и мощности. За независимые переменные в (1) приняты частоты ω и ω_2 каждой из частей энергосистемы. Характеристический определитель системы уравнений (1) будет иметь вид:

$$\Delta = \begin{vmatrix} T_J p + k_H + W_c(p) & -W_c(p) \\ -W_c(p) T_J p + k_H + W_c(p) & \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Он разлагается на два сомножителя. С учетом этого характеристическое уравнение будет иметь вид:

$$\Delta = (T_J p + k_H + W_c(p))^2 - W_c^2(p) = (T_J p + k_H)(T_J p + k_H + 2W_c(p)). \quad (4)$$

Каждый из сомножителей соответствует определенному движению в объединенной энергосистеме [2], а условия устойчивости могут определяться на основе рассмотрения каждого из них в отдельности. Чтобы выяснить, с каким именно движением связан каждый сомножитель, решим систему (1) относительно ω_1 и ω_2 при ступенчатом возмущении ΔP_{H1} и запишем операторные выражения величин $(\omega_1 - \omega_2)$ и $(\omega_1 + \omega_2)/2$:

$$\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} = \frac{T_J p + k_H + W_c(p)}{2\Delta} \Delta P_{H1} + \frac{W_c(p)}{2\Delta} \Delta P_{H1} = \frac{\Delta P_{H1}}{2(T_J p + k_H)}; \quad (5)$$

$$\omega_1 - \omega_2 = \frac{T_J p + k_H + W_c(p)}{2\Delta} \Delta P_{H1} - \frac{W_c(p)}{2\Delta} \Delta P_{H1} = \frac{\Delta P_{H1}}{T_J p + k_H + 2W_c(p)}. \quad (6)$$

С (5) и (6) имеем, что первый сомножитель характеристического многочлена (4) относится к изменению средней частоты в объединенной энергосистеме, а второй – к изменению разности частот двух энергосистем. Если умножить разницу частот на $W_c(p)$, то получим операторное выражение изменения перетока мощности между частями объединенной энергосистемы:

$$P_{\Pi} = \frac{W_c(p)}{T_J p + k_H + 2W_c(p)} \Delta P_{H1}. \quad (7)$$

Выражение (5) соответствует переходной характеристике в виде экспоненты, что имеет при типовых значениях параметров энергосистем

($T_J=10\text{с}$, $k_H=2$) постоянную времени 5 с. В выражение (6) вместо $W_c(p)$ подставим (2):

$$\omega_1 - \omega_2 = \frac{(T_d p + 1)p}{T_J T_d p^3 + (T_J + k_H T_d)p^2 + (k_H + 2\omega_0(A_d + A_c T_d))p + 2\omega_0 A_c}. \quad (8)$$

Знаменатель выражения (8) при любых реальных значениях параметров имеет один отрицательный и два комплексных сопряженных корня, а разница частот содержит две составляющие: апериодическую (экспоненциальную) и колебательную (угасающую), что стремится к нулю во времени и уменьшается по мере усиления связи частей объединенной энергосистемы (увеличение A_c и A_d). Апериодическая составляющая практически при всех значениях параметров остается незначительной. При достаточно сильной связи разница $\omega_1 - \omega_2$ становится очень малой. При этом практически остается только одна переменная средняя частота. Этот случай был предметом рассмотрения при приведении энергосистемы к одному агрегату. Коэффициент 2, появившийся в (5), связанный только с тем, что величина возмущения ΔP_{HI} в (1) и последующих выражениях отнесена к мощности каждой части, то есть до половины мощности объединенной энергосистемы.

Откажемся от равенства частей объединенной энергосистемы по мощности, но сохраним равенство выраженных в относительных единицах параметров T_J и k_H . Такое допущение близко к действительности практически для всех однородных по составу частей объединенной энергосистемы (например, только из тепловых станций или с одинаковым удельным весом ГЭС).

Для совместного решения уравнений (1) в этом случае необходимо принять одинаковое значение базовой мощности. Пусть это будет мощность

первого района P_1 . В результате получим характеристический определитель, который будет разлагаться на такие множители:

$$\Delta = \frac{P_2}{P_1} (T_J p + k_H) \left(T_J p + k_H + \frac{P_1 + P_2}{P_1} W_c(p) \right). \quad (9)$$

В этом случае также первый сомножитель соответствует процессу изменения [4], средневзвешенного по мощности энергосистем значению частоты:

$$\omega_{св} = \frac{\omega_1 P_1 + \omega_2 P_2}{P_1 + P_2} = \frac{\Delta P_{H1}}{\frac{P_1 + P_2}{P_1} (T_J p + k_H)}, \quad (10)$$

а второй по-прежнему процессу изменения разности частот:

$$\omega_1 - \omega_2 = \frac{\Delta P_{H1}}{T_J p + k_H + \frac{P_1 + P_2}{P_1} W_c(p)}. \quad (11)$$

При $P_1 = P_2$ выражения (9) – (11) преобразуются соответственно в (4) – (6). Для регулируемой объединенной энергосистемы в левых частях уравнений (1) появятся члены, соответствующие регулирующим воздействиям [5]. Если эти воздействия одинаковы в обеих частях энергосистемы, то система остается симметричной, и характеристический определитель по-прежнему разлагается на два сомножителя. Пусть регулирование осуществляется в функции только частоты (работают только регуляторы турбин, то есть АРЧВ по мгновенным отклонениям), при этом передаточная функция регулятора:

$$\frac{P_m(p)}{\omega(p)} = \frac{N_\omega(p)}{D(p)}, \quad (12)$$

где – P_T мощность, вырабатываемая турбиной.

Если осуществляется совместное регулирование частоты и перетекания мощности, то в уравнение движения (1) необходимо включить влияния как по частоте, так и по перетокам. Передаточную функцию регулирующего воздействия по перетокам обозначим:

$$\frac{P_m(p)}{P_n(p)} = \frac{N_P(p)}{D(p)}. \quad (13)$$

На рис.2 приведена структурная схема объединенной энергосистемы с регулировкой по частоте и перетоку мощности.

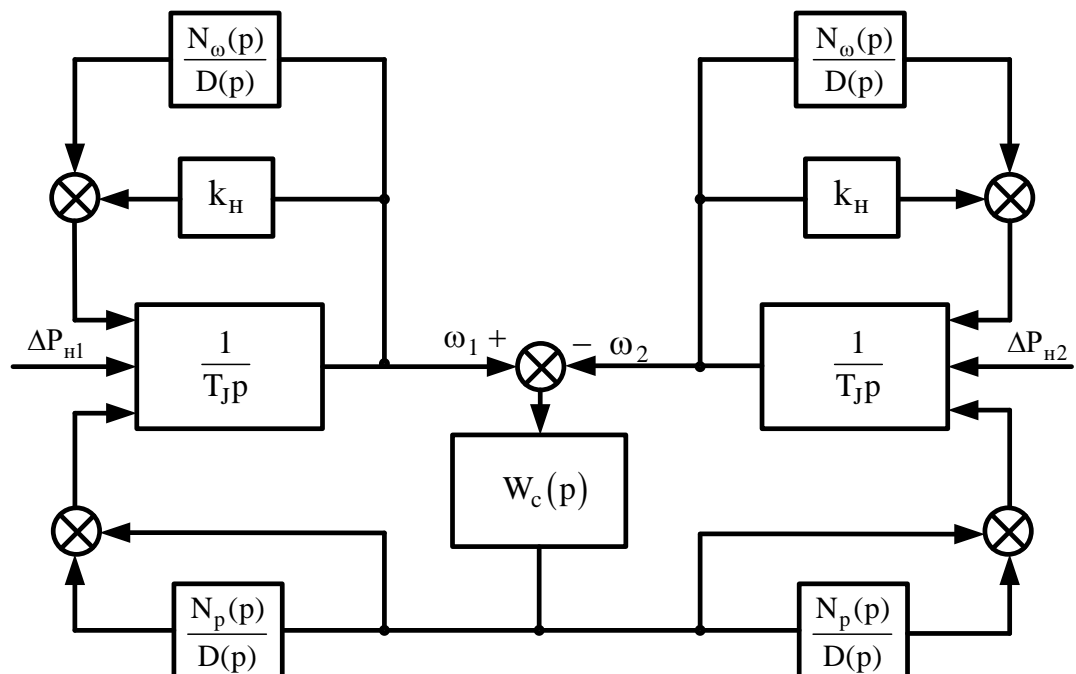


Рисунок 2 – Структурная схема объединенной энергосистемы с регулировкой частоты и перетокам мощности

В общем случае, знаменатели выражений (12) и (13) могут различаться. Однако, поскольку регулирующие влияния и по частоте, и по перетокам действуют в одной и той же цепи звеньев системы (МУТ, турбина и т.д.), то путем соответствующего изменения числителей легко сделать знаменатели одинаковыми.

После простых, аналогичных, выполнявшихся ранее преобразований, можно получить характеристический определитель. Он разлагается также на два сомножителя.

Первый сомножитель этого характеристического определителя не изменился по сравнению с предыдущими соотношениями, то есть устойчивость процесса регулирования средней частоты оказывается не зависящим от регулирующего воздействия по перетокам. Второй сомножитель характеризует регулирования разности частот регулятором по передаточной функцией:

$$\frac{P_m(p)}{(\omega_1 - \omega_2)(p)} + \frac{N_\omega(p) + 2N_P(p)W_c(p)}{D(p)}. \quad (14)$$

Если же учесть связь между разницей частот и изменением перетока, то второй сомножитель будет характеризовать регулирование перетока регулятором с передаточной функцией:

$$\frac{P_m(p)}{P_n(p)} = \frac{N_\omega(p)W_c(p) + 2N_P(p)}{D(p)}. \quad (15)$$

Уравнение (14) и (15) сравним с уравнениями (12) и (13). Очевидно, что в то время, как влияние по перетокам не влияет на устойчивость регулирования частоты, обратное утверждение не соответствовало бы

действительности, так как в (15) входят операторы влияния как с перетоками $N_p(p)$, так и по частоте $N_\omega(p)$.

В нерегулируемой объединенной энергосистеме изменение средней частоты протекает по экспоненциальному закону с постоянной времени T_J/k_H , а изменение разности частот содержит две стремящиеся к нулю составляющие: экспоненциальную и колебательную. Период колебаний в большинстве случаев близок к 1 с. Регулятор частоты на них реагировать не будет, так же как регулятор мощности не реагирует на колебательную составляющую мощности генератора. Постоянная времени экспоненциальной составляющей незначительная по величине и близка к постоянному времени изменения средней частоты. Однако в отличие от изменения средней частоты разность частот стремится к нулю. Таким образом, «система регулирования разности частот» отличается от «системы регулирования средней частоты» заменой инерционного звена реальным дифференцирующим звеном с очень небольшим коэффициентом передачи. Если устойчива вторая система, то тем больше будет устойчива первая. Итак, будет устойчива и в целом система регулирования частоты в объединенной энергосистеме. Окончательный вывод заключается в том, что система регулирования частоты, устойчива в концентрированной энергосистеме, будет устойчива и в симметричной энергосистеме из двух частей. Рассуждая также, как в случае уравнений (9)÷(11), можно распространить этот вывод на случай как двух неравных по мощности частей, так, очевидно, и в случае произвольного числа частей.

Следует отметить, что аналитический анализ не обнаруживает какой-либо неустойчивости, связанной с использованием в обеих частях энергосистемы астатического регулирования частоты с мгновенным отклонением. Если характеристическое уравнение $W_\omega(p)=0$ соответствует устойчивому регулированию в одной из частей энергосистемы, то хотя при определенных значениях входящих в $W_c(p)$ параметров будет устойчивым и общее движение. Этим доказывается, что известное в эксплуатации явление

неустойчивости параллельной работы астатических регуляторов имеет другую природу: оно связано не со структурой и соотношением параметров системы регулирования, а с нелинейными эффектами (различием величин зон нечувствительности, различными коэффициентами усиления при наличии зон нечувствительности и нестабильностью (расхождением) уставок регуляторов). Соответственно и неустойчивость проявляется не в виде расходящихся колебаний или аperiodического нарастания координат, а в виде постепенного расхождения мощностей, генерируемых регулируемыми электрическими станциями, в этом случае, частями энергосистемы. Итак, устойчивость может быть обеспечена без изменения структуры и параметров путем применения регуляторов без зоны нечувствительности и с высокой точностью и стабильностью настройки.

Приведенное моделирование объединенной энергосистемы основано на оценке характеристик асинхронной мощности (параметров A_d , T_d). В отличие от случая работы генератора на шины неизменного напряжения в рассматриваемом случае есть три независимые переменные δ_{12} , E_{q1} и E_{q2} , поэтому увеличение мощности, генерируемой в каждой части объединенной энергосистемы, можно записать в виде:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{\varepsilon 1} &= \frac{dP_{\varepsilon 1}}{d\delta_{12}} \Delta\delta_{12} + \frac{dP_{\varepsilon 1}}{dE_{q1}} \Delta E_{q1} + \frac{dP_{\varepsilon 1}}{dE_{q2}} \Delta E_{q2} \\ \Delta P_{\varepsilon 2} &= \frac{dP_{\varepsilon 2}}{d\delta_{21}} \Delta\delta_{21} + \frac{dP_{\varepsilon 2}}{dE_{q1}} \Delta E_{q1} + \frac{dP_{\varepsilon 2}}{dE_{q2}} \Delta E_{q2} \end{aligned} \right\}$$

Члены вида $\frac{dP_{\varepsilon}}{d\delta} \Delta\delta$ представляют собой приращение синхронной мощности. Члены, в которые входят приращение ЭДС E_q , которые возникают при взаимном скольжении частей энергосистемы, соответствуют асинхронной мощности. Расчет переходных характеристик системы

АСРЧМ по мгновенным отклонениям выполняется для структурной схемы АСР изображенной на рис.3.

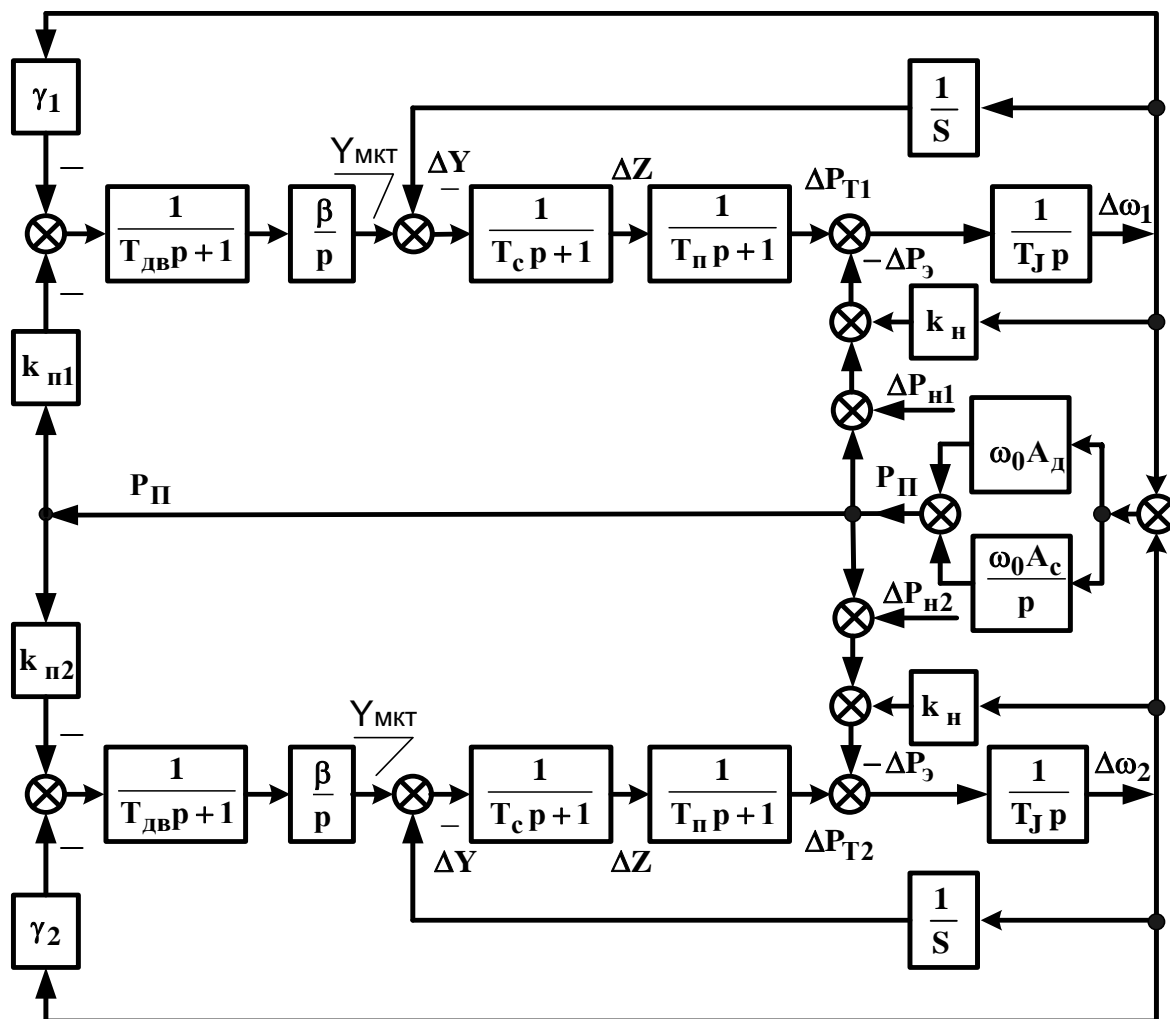


Рисунок 3 – Структурная схема регулирования частоты и перетекания мощности по мгновенным отклонениям в объединенной энергосистеме

На рис. 3 каждая из одинаковых частей энергосистемы приведена к одному паровому турбоагрегату без промежуточного перегрева. Для удобства сравнения с другими схемами и расчетными случаями коэффициент передачи МУТ отмечен отдельной величиной β . Он при расчетах принимается равным единице. Коэффициент синхронной мощности $\omega_0 A_c = 30$, т.е. $A_c \approx 0,1$. Коэффициент асинхронной мощности A_d задается в каждом варианте расчета. В качестве возмущения рассматривается ступенчатое изменение нагрузки ΔP_H в одной из частей энергосистемы. За единицу принята мощность одной части объединенной энергосистемы.

2 ПОРЯДОК РАБОТЫ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ АСР И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Составить структурную схему моделирования системы регулирования частоты и потоков мощности по мгновенным отклонениям с помощью программы МВТУ 3.7 и определить параметры блоков с учетом симметричности обеих частей объединенной энергосистемы и исходных данных (табл. 1.).
- Выполнить расчет на ЭВМ переходных характеристик $\Delta\omega_1(t)$, $\Delta\omega_2(t)$ и $P_n(t)$ нерегулируемой объединенной энергосистемы при $\gamma_1=\gamma_2=0$, $k_{n1}=k_{n2}=0$, $\omega_0 A_d=1$ и при ступенчатом изменении только ΔP_{n1} ($\Delta P_{n2}=0$). Регулирование в этом случае осуществляется статическим регулятором частоты вращения АРЧВ. Установившиеся значения отклонения частоты и потока мощности определяются по соотношениям:

$$\Delta\omega_1 = \Delta\omega_2 = \frac{S}{2(1+k_n S)} \Delta P_{n1} \quad \text{и} \quad P_n = \frac{1}{2(1+k_n S)} \Delta P_{n1}.$$

Посредством переходных характеристик определить значения $\Delta\omega_1(t)$, $\Delta\omega_2(t)$ и $P_n(t)$ и сравнить их с результатами рассчитанными по указанным соотношениям.

- Рассчитать на ЭВМ переходные характеристики объединенной энергосистемы, когда регулирование частоты осуществляется только в первой ее части ($\gamma_1=8$ и $\gamma_2=0$, $k_{n1} = k_{n1} = 0$) при ступенчатом приращении мощности во второй части ΔP_{n2} (при этом $\Delta P_{n1} = 0$). Определить при каком значении коэффициента асинхронной мощности исчезает колебательная составляющая переходного процесса в первой и во второй частях объединенной энергосистемы $\Delta\omega_1(t)$, $\Delta\omega_2(t)$. Рекомендуется изменять $\omega_0 A_d$ от 0 до 10 с шагом 5.
- Выполнить расчет на ЭВМ переходных характеристик $\Delta\omega_1(t)$, $\Delta\omega_2(t)$ и $P_n(t)$ при регулировании в обеих частях объединенной энергосистемы по

закону $U_{рег} = \gamma \cdot \omega + k_{п} \cdot P_{п}$ при ступенчатом изменении только $\Delta P_{н2}$ ($\Delta P_{н1} = 0$). Рекомендуется изменять коэффициент « γ » и коэффициент пропорциональности « $k_{п}$ » в следующих пределах $\gamma = 1; 4; 6; 12$ и $k_{п} = 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 0,8; 1,0$. Параметры регулятора « γ » и « $k_{п}$ » устанавливаются одинаковыми в обеих частях энергосистемы. Значение коэффициента асинхронной мощности « $\omega_0 A_d$ » принимается по результатам расчетов в предыдущем пункте (минимальное значение, соответствующее исчезновению колебательного характера переходной характеристики $\Delta\omega_1(t)$ или $\Delta\omega_2(t)$).

- Выполнить расчеты на ЭВМ переходных характеристик системы регулирования частоты и перетоков мощности с различными настройками регулятора. $\gamma_1=2$, $k_{п1} = 0,33$ и $\gamma_2 = 0,5$, $k_{п2} = 0,083$. В первом случае задается возмущение в первой части объединенной энергосистемы $\Delta P_{н1}$ ($\Delta P_{н2}=0$), а во втором случае во второй ее части $\Delta P_{н2}$ ($\Delta P_{н1}=0$).

Таблица 1 – Исходные данные для исследования АСР частоты и перетоков мощности

Номер варианта	T_J, c	β	K_H	$T_{п}, c$	S	$\Delta P_{H, o.e.}$
1, 11	10	1	1,8	0,2	0,1	0,04
2, 12	10	1	1,9	0,25	0,1	0,06
3, 13	10	1	2,0	0,28	0,12	0,08
4, 14	10	1	2,1	0,3	0,12	0,04
5, 15	10	1	2,2	0,25	0,14	0,06
6, 16	8	1	1,8	0,3	0,14	0,08
7, 17	8	1	1,9	0,28	0,14	0,04
8, 18	8	1	2,0	0,25	0,1	0,06
9, 19	8	1	2,1	0,23	0,1	0,08
10, 20	8	1	2,2	0,2	0,12	0,07

Примечание к табл. 1: для вариантов 1 – 10 принять $T_c = 0,25$ с, а для вариантов 11 – 20 выбрать $T_c = 0,5$ с.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СТО. Нормы участия генерирующего оборудования тепловых электростанций с поперечными связями в нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности. https://so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_frequency_2016_tpp_cross.pdf
2. [Системный оператор Единой энергетической системы: Использование тепловых электростанций для автоматического вторичного регулирования частоты в период паводка подтвердило свою эффективность](#) (англ.). www.so-ups.ru. Дата обращения: 17 января 2022.
3. Система автоматического мониторинга ОПРЧ. <https://enersys.ru/solution/large-energy-objects/monitoring-oprch>
4. Методика мониторинга и анализа участия генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты http://so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/2019/method_analis_oprch_2019.pdf
5. Описание критериев контроля участия генерирующего оборудования в нормированном первичном регулировании частоты https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/asm/2015/crit_nprch_061015.pdf
6. Описание критериев контроля участия генерирующего оборудования в нормированном первичном регулировании частоты. https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/asm/2015/crit_nprch_061015.pdf
7. Система мониторинга НППЧ. <https://enersys.ru/solution/large-energy-objects/nprch>

8. СТО Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС России. Нормы и требования. https://so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_frequency_2012.pdf

9. [Системный оператор Единой энергетической системы: Деятельность](#) (англ.). so-ups.ru. Дата обращения: 17 января 2022.

10. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике. Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС и изолированно работающих энергосистемах России. Требования к организации и осуществлению процесса, техническим средствам http://so-ups.ru/fileadmin/files/company/r-n-politics/frequency/specdocs/sto_standard/STO_17330282.29.240.002-2007.pdf

11. [Перейти обратно:^{1 2} Приказ Министерства энергетики РФ от 9 января 2019 г. № 2 “Об утверждении требований к участию генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты и внесении изменений в Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденные приказом Минэнерго России от 19 июня 2003 г. № 229” \(не вступил в силу\)](#). www.garant.ru. Дата обращения: 17 января 2022.

12. [Системный оператор Единой энергетической системы: Система добровольной сертификации](#) (англ.). so-ups.ru. Дата обращения: 17 января 2022.

13. [Системный оператор Единой энергетической системы: Отборы 2020 года](#) (англ.). so-ups.ru. Дата обращения: 17 января 2022.

14. [Системный оператор Единой энергетической системы: Рынок системных услуг](#) (англ.). so-ups.ru. Дата обращения: 17 января 2020.

15. СТО. Нормы участия энергоблоков тепловых электростанций в нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности. https://so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_002-2013_freq_regulation.pdf

16. СТО. Нормы участия парогазовых и газотурбинных установок в нормированном нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности.. https://so-ops.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_nprch_pgu_09_2016.pdf