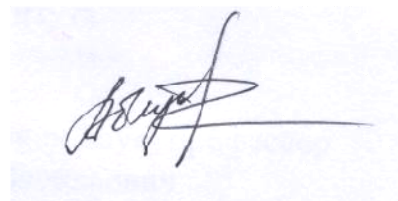


На правах рукописи



АБЕУОВ РЕНАТ БОЛТАБАЕВИЧ

СИНТЕЗ АДАПТИВНЫХ СИНХРОНИЗАТОРОВ
ДЛЯ МИНИ-ЭНЕРГОСИСТЕМ С УПРАВЛЕНИЕМ ПО
ПРОГРАММНЫМ ТРАЕКТОРИЯМ ДВИЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ И
ПОДСИСТЕМ

Специальность 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические
системы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2008

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Томский политехнический университет» на кафедре «Электроэнергетические системы и высоковольтная техника» Электротехнического института.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Хрущев Юрий Васильевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Манусов Вадим Зиновьевич

кандидат технических наук, доцент
Харлов Николай Николаевич

Ведущая организация: Филиал ОАО «НТЦ Энергетики» –
СибНИИЭ, г. Новосибирск

Защита состоится « 29 » декабря 2008 г. в 14 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.269.10 при ГОУ ВПО «Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ТПУ.

Автореферат разослан « 26 » 11 2008 г.

Ученый секретарь совета
по защите докторских
и кандидатских диссертаций
Д 212.269.10, д.т.н., профессор



Кабышев А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

К настоящему времени в России созданы автономные электроэнергетические системы (ЭЭС), в силу ряда объективных причин оставшиеся «островками», не связанными, либо «слабо» связанными с Единой национальной энергетической системой (ЕНЭС) электрическими сетями. К ним, в частности, относятся энергосистемы Якутии, Магаданской и Камчатской областей, Чукотского, Ямало-Ненецкого, Ханты-Мансийского автономных округов, острова Сахалин, полуострова Таймыр и множество энергосистем малой мощности, которые кратко можно обозначить как мини-энергосистемы (мини-ЭЭС).

Мини-энергосистема – это энергосистема, удаленная от основных энергетических центров, примыкающая к объектам ЕНЭС по «слабым» связям, либо работающая автономно и имеющая в своем составе одну или несколько электростанций малой мощности. В большинстве своем это газотурбинные (ГТЭС), газопоршневые (ГПЭС) и дизельные электростанции (ДЭС), установленная мощность которых колеблется от 0,1 до 24 МВт. Обобщенно эти станции далее называются мини-тепловыми электростанциями (мини-ТЭС).

Мини-ЭЭС и, соответственно, мини-ТЭС относятся к совокупности объектов «малой энергетики», как подотрасли энергетики в целом. Характерной особенностью этих объектов является слабая оснащенность средствами автоматического и автоматизированного управления, что приводит в целом к пониженным показателям надежности и экономичности работы электрооборудования.

В этих условиях актуальны задачи обеспечения эффективного управления режимами мини-ЭЭС. К ним в частности относится исследуемая в диссертации задача повышения эффективности систем синхронизации генераторов и подсистем.

Важность этой задачи объясняется тем, что используемые в мини-ЭЭС системы синхронизации несовершенны и не позволяют обеспечить быстрое и с приемлемым качеством переходного процесса включение генераторов и подсистем на параллельную работу.

Вместе с тем для разработки эффективных систем автоматического управления процессами синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС к настоящему времени накоплены достаточные теоретические знания. К ним, прежде всего, следует отнести высокий уровень развития теории автоматического управления в целом и развитие научно-технического направления «Автоматическое управление программным движением объектов» в частности. Основные теоретические положения этого направления в прикладном аспекте приняты за основу в разработке современных адаптивных синхронизаторов для мини-ЭЭС.

Цель работы

Целью работы является построение эффективных алгоритмов и структурно-функциональных схем систем точной синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС на основах теории автоматического управления программным движением объектов.

Для достижения цели работы поставлены и решены следующие задачи:

- обоснование возможности эффективного решения задач управления процессами точной автоматической синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС на основах теории автоматического управления программным движением объектов;
- разработка и алгоритмизация способов адаптивного управления процессами точной автоматической синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС по программным траекториям движения;
- обоснование и формирование структурно-функциональных схем систем автоматического адаптивного управления процессами точной синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС;
- синтез основных функциональных блоков адаптивных систем синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС, как элементов сформированных структурно-функциональных схем.

Методика проведения исследования

Работа основана на общей теории функционирования электроэнергетических систем, теории электромагнитных и электромеханических переходных процессов, положениях теории автоматического управления программным движением и принципах построения адаптивных систем управления программным движением (СУПД) технических объектов. Моделирование режимов работы ЭЭС выполнялось численными методами с использованием промышленного программного комплекса ДАКАР, и цифровой трехфазной динамической модели энергосистем разработанной специалистами Томских университетов, политехнического и университета систем управления и радиоэлектроники.

Научная новизна

Научная новизна диссертации заключается в том, что впервые осуществлены:

- постановка и решение задачи синтеза эффективных адаптивных систем точной автоматической синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС на основах теории автоматического управления программным движением технических объектов;
- построение алгоритмов формирования программных траекторий движения для адаптивных систем точной автоматической синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС;

- построение структурно-функциональных схем адаптивных синхронизаторов генераторов и подсистем мини-ЭЭС действующих на основе управления по программным траекториям движения;
- построение структурно-функциональной схемы адаптивного синхронизатора подсистем мини-ЭЭС с использованием программной траектории движения в качестве эталонной модели;
- обоснование применимости статического тиристорного компенсатора, как одного из существующих плавнорегулируемых устройств, для адаптивного управления процессами синхронизации подсистем мини-ЭЭС по программным траекториям движения.

Практическая значимость работы

Результаты разработки предлагаемых способов адаптивного управления по программным траекториям движения достаточны для создания синхронизаторов, обеспечивающих включение генераторов в сеть и объединения подсистем мини-ЭЭС с весьма малыми значениями потенциальной и кинетической энергий относительного движения и, следовательно, с высоким качеством последующих переходных процессов.

Реализация предлагаемых способов точной синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС представляет самостоятельный интерес, а также рассматривается в качестве базы для создания более совершенных систем точной синхронизации частей ЭЭС в цикле автоматического повторного включения, и как начальная ступень для их развития и применения в мощных энергосистемах ЕНЭС.

Основные результаты, выносимые на защиту:

1. Новый способ адаптивной синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС, позволяющий сократить время включения на параллельную работу, и повысить качество последующего переходного процесса.
2. Методические рекомендации к построению и примеры построения программных траекторий движения для синтезируемых адаптивных систем синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС.
3. Структурно-функциональная схема системы точной синхронизации подсистем мини-ЭЭС с использованием программной траектории движения в качестве эталонной модели.
4. Математическая модель функционирования статических тиристорных компенсаторов, в качестве силовых устройств управления в процессе адаптивной синхронизации подсистем мини-ЭЭС.

Реализация результатов работы

Результаты работы включены в план мероприятий по модернизации системы электроснабжения муниципального предприятия «Салехардэнерго», а также предусматриваются к использованию в проектной деятельности ООО «Томскэлектросетьпроект».

Апробация работы

Основные результаты работы были доложены и обсуждены на семинарах кафедры электроэнергетических систем и высоковольтной техники Томского политехнического университета (ТПУ); на Всероссийских научно-технических конференциях «Энергетика: Экология, надежность, безопасность». Томск, ТПУ, 2004, 2005, 2007 г.г.; на Международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых – «Современные техника и технологии». Томск, ТПУ, 2007, 2008 г.г.; на Международной научно-технической конференции «Электромеханические преобразователи энергии». Томск, ТПУ 2007г.; на Всероссийских научных конференциях молодых ученых – «Наука. Технологии. Инновации». Новосибирск, НГТУ, 2006, 2007 г.г.; на Всероссийском совещании «Энергоэффективность и использование возобновляемых источников энергии – основные резервы энергетической безопасности регионов России». Томск, ТМДЦ «Технопарк», 2007 г.; на Университетской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – «Знания, умения, навыки – путь к созданию новых инженерных решений». Томск, ТПУ, 2007 г.; на Всероссийской научно-технической конференции «Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования». Томск, 2008 г.

Публикации

По результатам исследований опубликовано 20 научных работ: статьи в реферируемых журналах – 3; материалы и тезисы докладов – 16; патент на полезную модель – 1.

Структура и объем работы

Материалы диссертации структурно представлены введением, четырьмя главами, заключением, библиографическим списком из 96 наименований и приложениями. Основное содержание изложено на 165 страницах, иллюстрировано 28 рисунками, содержит 8 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и дана общая характеристика выполненной работы. Сформулированы цель работы, научная новизна и практические результаты.

В первой главе «Предметная область и задачи исследований» обозначены основные тенденции и проблемы развития мини-энергосистем. Дана оценка эффективности существующих способов и средств управления, используемых для точной автоматической синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС, выполнен обзор перспективных способов и средств. Сформулированы задачи разработки и реализации

современных эффективных систем управления процессами точной автоматической синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС и выделены задачи исследований.

На основе общего обзора показано, что применяемые системы и алгоритмы точной автоматической синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС построены на принципе регулирования частот синхронизируемых объектов в сторону их сближения, и ожидания момента времени при котором угол разности фаз между векторами напряжений этих объектов попадет в допустимый диапазон, после чего подается команда на включение в «параллель». Данный принцип является очень «грубым» и в полной мере не отвечает таким требованиям, как быстрдействие и точность управления.

Отмечено, что в мировой практике быстро нарастает использование некоторых многофункциональных средств управления, в частности, статических тиристорных компенсаторов, управляемых шунтирующих реакторов и т.д. Известны примеры и планы промышленного применения управляемых резисторов, устройств продольной компенсации, фазоповоротных устройств, сверхпроводниковых индукционных накопителей энергии и других устройств с плавным изменением параметров. Исследователями областей применения таких устройств неоднократно отмечались их потенциальные возможности для управления режимами ЭЭС в динамических переходах. Использование этих средств для управления процессом синхронизации подсистем мини-ЭЭС требует разработки гибких законов и систем, соответствующих их техническим характеристикам и задачам управления.

Содержательные предпосылки для разработки адаптивных систем синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС с требуемыми законами управления предоставляют результаты теоретических и прикладных исследований по вопросам построения адаптивных СУПД объектов, широко используемых в различных отраслях техники. Для решения задач точной автоматической синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС этот подход не применялся, поэтому дана развернутая трактовка наиболее важных путей решения этих задач.

Во второй главе «Теоретические основы построения систем адаптивной синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС» изложены положения применимости общей методологии построения законов автоматического управления по программным траекториям движения (ПТД) технических объектов для решения задачи управления процессами точной автоматической синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС. Представлены: основы построения ПТД генераторов и подсистем мини-ЭЭС; основы методики расчета управлений движением генераторов в составе синхронизируемых частей мини-ЭЭС; методика расчета управлений при одном управляющем устройстве;

методика расчета управлений при синхронизации одномашиной подсистемы мини-ЭЭС.

Современный подход к решению задач управления базируется на *принципе адаптации* систем управления (СУ) к заранее неизвестным свойствам конкретного объекта и условиям его функционирования. В ходе работы адаптивной системы синхронизации происходит ее приспособление к фактическим условиям и свойствам объекта, которое проявляется в перестройке параметров или структуры СУ в таком направлении, чтобы она к моменту завершения процесса синхронизации гарантировала достижение цели управления.

Для аппаратного построения систем синхронизации с управлением по ПТД генераторов и подсистем в реальных мини-ЭЭС использование принципа адаптации неизбежно. Существуют множество факторов, влияющих на движение синхронизируемого объекта в составе мини-ЭЭС, идентификация которых практически неосуществима.

Формирование ПТД, расчет управлений и УВ, постановка и пути решения задачи аппаратного выполнения адаптивных систем синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС в целом базируются на общих принципах и математических основах построения адаптивных СУПД объектов.

Программная траектория движения – это некоторое (вообще говоря, неединственное) целенаправленное движение объекта, которое в принципе может быть осуществлено выбором подходящего управления.

Применительно к мини-ЭЭС рассматриваются траектории движения входящих в ее состав генераторов и подсистем.

Математически такие траектории выражаются в форме подгрупп фазовых координат, изменяющихся во времени. Подмножество этих координат $x_y(t)$ рассматривается как подмножество управляемых параметров, для которого производится построение ПТД $x_p(t)$, используемых для расчета (или аппаратной реализации) управлений $u(t)$.

Таким образом, все множество $x(t)$ параметров режима, отражающих движение генератора или подсистемы мини-ЭЭС в процессе синхронизации, содержит подмножества управляемых $x_y(t)$ и неуправляемых $x_c(t)$ параметров. Принимая, что $x_y(t)$ отражает движение управляемого объекта, для которого строится ПТД, неуправляемую часть $x_c(t)$ можно рассматривать как параметрическое описание динамической среды, в которой управляется объект.

В качестве управляемых параметров процесса синхронизации рассматриваются небаланс мощностей на валу $\Delta P_y(t)$, угол вылета $\delta_y(t)$, и относительная скорость $v_y(t)$ ротора произвольно выбранного генератора мини-ЭЭС с постоянной инерции T_J . Связь между этими управляемыми

параметрами однозначно определяется через известную подсистему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{\delta}_y(t) = v_y(t); \\ \dot{v}_y(t) = \frac{\omega_0}{T_J} \Delta P_y(t), \end{cases} \quad (1)$$

представленную в форме, соответствующей размерностям параметров:
 $t[\text{с}]; T_J[\text{с}]; \delta_y[\text{рад}]; v_y[\text{рад/с}]; \Delta P_y[\text{отн.ед}].$

Объектом управления в рассматриваемом случае является изображающая точка $x_y = \text{colon}[t, \Delta P_y, v_y, \delta_y]$, которой искомым управлением $u(t)$ предписывается перемещение по ПТД $x_p = \text{colon}[t, \Delta P_p, v_p, \delta_p]$ на подынтервалах управления. Для построения ПТД можно использовать уравнения (1), так как $x_p(t)$ – это одна из траекторий движения объекта.

На интервале управления $[t_1, t_T]$ выделяются три подынтервала, на которых при формировании ПТД достигаются различные промежуточные цели (рис.1). На первом подынтервале $[t_1, t_2]$ происходит уменьшение начальной дополнительной кинетической энергии ротора синхронизируемого генератора до нулевого значения. В конце этого подынтервала относительная скорость ротора становится нулевой ($v_{p2}^{(1)} = 0$), а относительный угол принимает некоторое произвольное значение $\delta_{p2}^{(1)}$. На втором $[t_2, t_3]$ и третьем $[t_3, t_T]$ подынтервалах осуществляется снижение относительного угла вылета ротора генератора до нулевого значения. При этом управлением $u(t)$ в конце второго подынтервала достигается некоторая (экстремальная) относительная скорость $v_{p3}^{(2)} = \text{extr}$, которая уменьшается до нуля к концу третьего подынтервала ($v_{p4}^{(3)} = 0$), то есть к конечному моменту $t_T = t_4$ всего интервала управления. В этот же момент времени полностью снимается управление: $u(t_T) = \Delta P(t_T) = 0$.

В результате в момент t_T интервала управления $[t_1, t_T]$ выполняются граничные (конечные) значения всех параметров ПТД $x_{pT} = \text{colon}[t_T, \Delta P_{pT}, v_{pT}, \delta_{pT}] = \text{colon}[t_T, 0, 0, 0]$, удовлетворяющие условиям подключения генератора к электрической сети без дополнительных кинетической и потенциальной энергий.

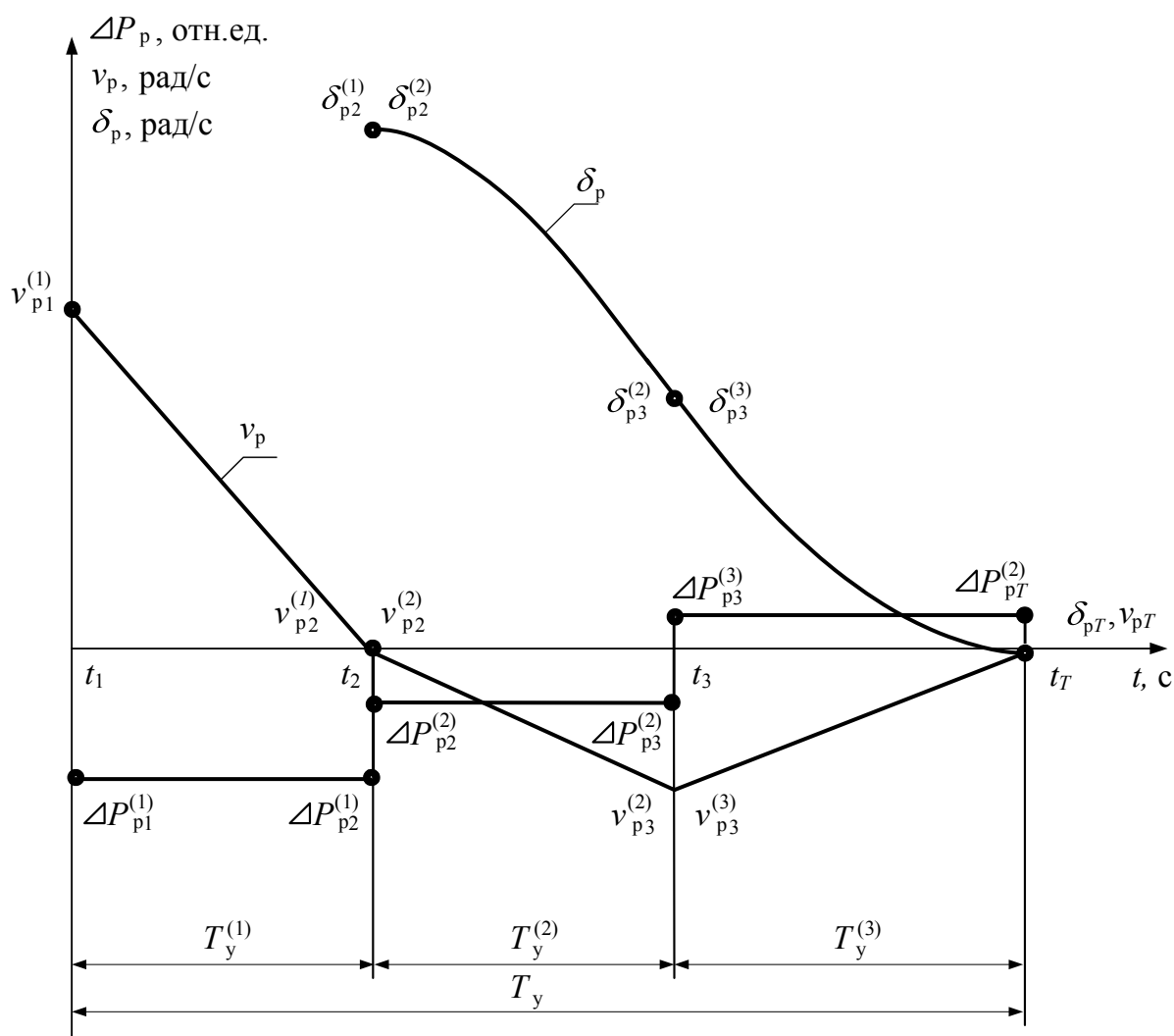


Рис.1. Пример построения ПТД синхронизируемого генератора

Вид зависимостей $\Delta P_p(t), v_p(t), \delta_p(t)$, то есть форма ПТД, полностью определяется принятым типом функции одной из этих компонент ПТД. При кусочно-постоянной (трехступенчатой) зависимости небаланса мощностей $\Delta P_p(t)$ на основе подсистемы уравнений (1) получены формулы для расчета всех компонент ПТД синхронизируемого генератора.

Обоснована и представлена математическая модель управляемого по ПТД динамического перехода синхронизируемой подсистемы произвольной сложности. Применительно к мини-ЭЭС дано подробное описание этой модели для частного случая, когда синхронизация подсистемы с одним генератором осуществляется с помощью управляющего устройства (УУ) реактивного типа (рис.2). Эта модель позволяет вычислять управления в виде переменной проводимости статического тиристорного компенсатора (СТК) $u = b(t)$, обеспечивающего движение генератора по заданной ПТД. При этом управление электромагнитным моментом генератора осуществляется через изменение мощности статической нагрузки (СН) и параметров сети.

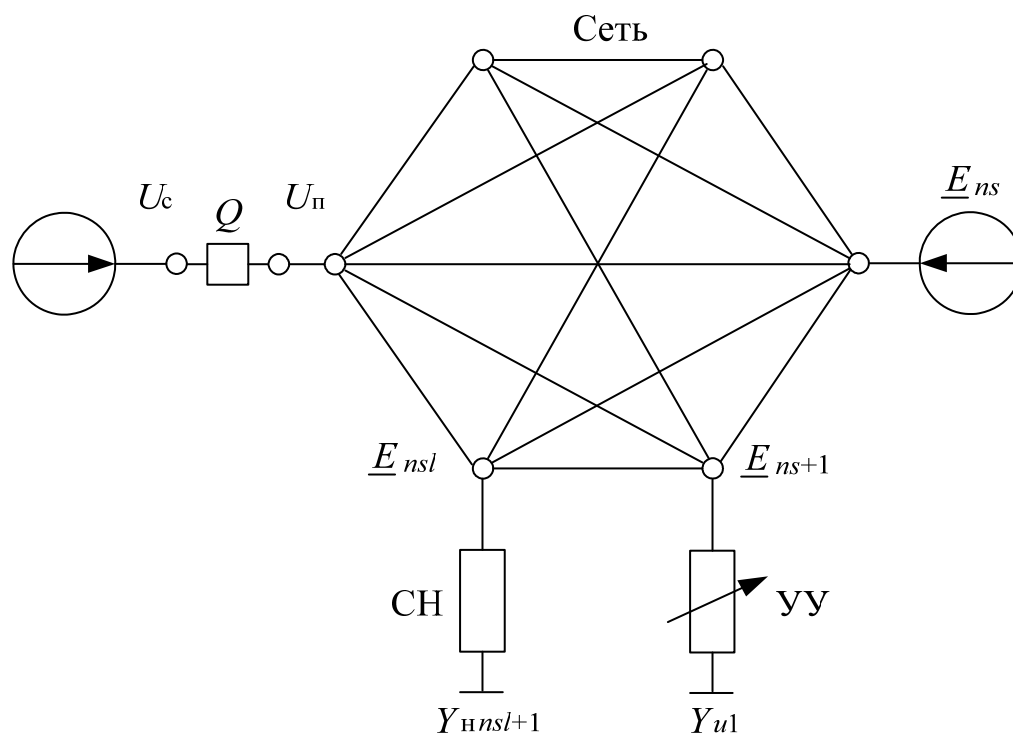


Рис. 2. Схема одномашинной энергосистемы со сложной сетью

В третьей главе «Алгоритмы и примеры расчета процессов синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС» сформулированы задачи и условия формирования ПТД и управлений в мини-ЭЭС. Предложены алгоритмы формирования ПТД для задачи точной автоматической синхронизации генераторов при заданной длительности управления и при заданных параметрах интенсивности управляющих воздействий на валу ротора генератора. Представлен алгоритм расчета ПТД и управлений для задачи синхронизации подсистем мини-ЭЭС, а также алгоритм формирования ПТД для адаптивной синхронизации подсистем мини-ЭЭС. Приведены результаты моделирования разработанных алгоритмов синхронизации.

Обоснование применимости методов построения адаптивных СУПД к решению задач синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС требует проведения исследований в области формирования ПТД и управлений. Важным этапом этой работы является разработка алгоритмов синхронизации и их численное моделирование на ЦВМ для конкретизации задач исследований, связанных с аппаратной реализацией адаптивных систем синхронизации.

Для подробного исследования на данном этапе для синхронизации генераторов приняты штатные системы регулирования, а для синхронизации подсистем мини-ЭЭС УУ поперечного включения, моделируемые реактивными проводимостями, подключаемыми в управляющих узлах. Из них в примере предпочтение отдано СТК, как наиболее распространенному устройству, позволяющему осуществлять

управление обоих знаков.

Для аппаратного формирования ПТД и управлений одним из важнейших является требование к быстродействию соответствующих алгоритмов. В таких алгоритмах желательно исключить расчеты переходных режимов по каким-либо математическим моделям ЭЭС и использовать специально подобранные функции, обеспечивающие высокую скорость расчета ПТД и их коррекция по ходу реального процесса управления.

Наиболее простыми являются алгоритмы построения ПТД при заданном трехступенчатом изменении небаланса мощностей $\Delta P_p(t)$. В этом случае подсистема уравнений (1) отражает равноускоренное относительное движение ротора управляемого генератора, при котором

$$v_p^{(i)}(t) = v_{pi}^{(i)} + \frac{\omega_0}{T_J} \Delta P_{pi}^{(i)}(t - t_i), \quad i = \overline{1,3}; \quad (2)$$

$$\delta_p^{(i)}(t) = \delta_{pi}^{(i)} + v_{pi}^{(i)}(t - t_i) + \frac{\omega_0}{2T_J} \Delta P_{pi}^{(i)}(t - t_i)^2, \quad i = \overline{1,3}, \quad (3)$$

где нижним индексом помечены начальные значения $x_{pi}^{(i)}$, $i = \overline{1,3}$ параметров ПТД на обозначенных верхним индексом подынтервалах управления.

На основании этого алгоритма разработаны алгоритмы синхронизации генераторов с сетью мини-ЭЭС при заданной длительности подынтервалов управления, и при заданных небалансах мощностей (моментов) на валу ротора. При этом последний представлен в двух вариантах, когда управление процессом синхронизации начинается с частоты ниже и выше номинальной.

В задаче синхронизации подсистем мини-ЭЭС с использованием СТК вычисление управлений по ПТД осуществлено для одномашинной системы. Алгоритм этого расчета может быть использован при обосновании применения и проектировании современных систем синхронизации в мини-ЭЭС.

Разработан алгоритм расчета параметров ПТД новой формы, предназначенный для адаптивной синхронизации подсистем мини-ЭЭС. Отличительной особенностью этой формы является отсутствие скачкообразных переходов управления $u = b(t)$ на стыках подынтервалов управления, что важно для практической реализации систем.

Важно и то, что ПТД строится для виртуального объекта – вектора напряжения в узле подключения синхронизируемой подсистемы. Этим исключается значительная часть информационных связей между объектами подсистемы.

В алгоритме построения ПТД, ускорение $\alpha_p(t)$ вектора напряжения представлено гладкой функцией, вследствие чего и управления

(управляющие воздействия) будут иметь непрерывный, а не кусочно-непрерывный вид. Для вычисления компонент ПТД α_p, v_p, δ_p получены следующие выражения:

$$\alpha_p = -\frac{2\pi\delta_{p2}^{(2)}}{(t_T - t_2)^2} \sin \frac{2\pi(t - t_2)}{t_T - t_2}; \quad (4)$$

$$v_p = \frac{\delta_{p2}^{(2)}}{t_T - t_2} \left(\cos \frac{2\pi(t - t_2)}{t_T - t_2} - 1 \right); \quad (5)$$

$$\delta_p = \delta_{p2}^{(2)} + \frac{\delta_{p2}^{(2)}}{t_T - t_2} \left(\frac{t_T - t_2}{2\pi} \sin \frac{2\pi(t - t_2)}{t_T - t_2} - (t - t_2) \right). \quad (6)$$

Все алгоритмы расчета ПТД и управлений реализованы программно в математическом приложении MS Excel.

Результаты моделирования алгоритмов синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС показали их работоспособность и высокую эффективность. Они могут быть применены для разработки систем точной автоматической синхронизации.

В четвертой главе «Элементы и схемы адаптивных систем синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС» проанализирована обобщенная структура адаптивных СУПД объектов с позиций ее применимости к синтезу синхронизаторов. Дана оценка технической реализуемости адаптивных систем синхронизации. Представлены структурно-функциональные схемы адаптивных систем синхронизации генераторов, а также подсистем мини-ЭЭС с использованием СТК в качестве силовых элементов управления и ПТД в качестве эталонной модели. Обобщенная структурно-функциональная схема этих систем приведена на рисунке 3.

В этой схеме на объект управления (ротор генератора или подсистему мини-ЭЭС) помимо управляющего сигнала $u(t)$ действуют неизмеряемые параметры θ внешней среды и неопределяемые внешние возмущения $\pi(t)$. Адаптация процесса управления производится по отношению к этим параметрам. В процессе управления программатор-анализатор рассчитывает ПТД $x_p(t)$, сравнивает реальные $x(t)$ и рассчитанные $x_p(t)$ значения параметров и подает рассогласование $\Delta x(t) = x(t) - x_p(t)$ на вход изменения уставки регулятора. Последний формирует управляющий сигнал $u(t)$, соответствующий рассогласованию $\Delta x(t)$, преобразует его в силовое воздействие с помощью силового элемента и подает на объект управления.

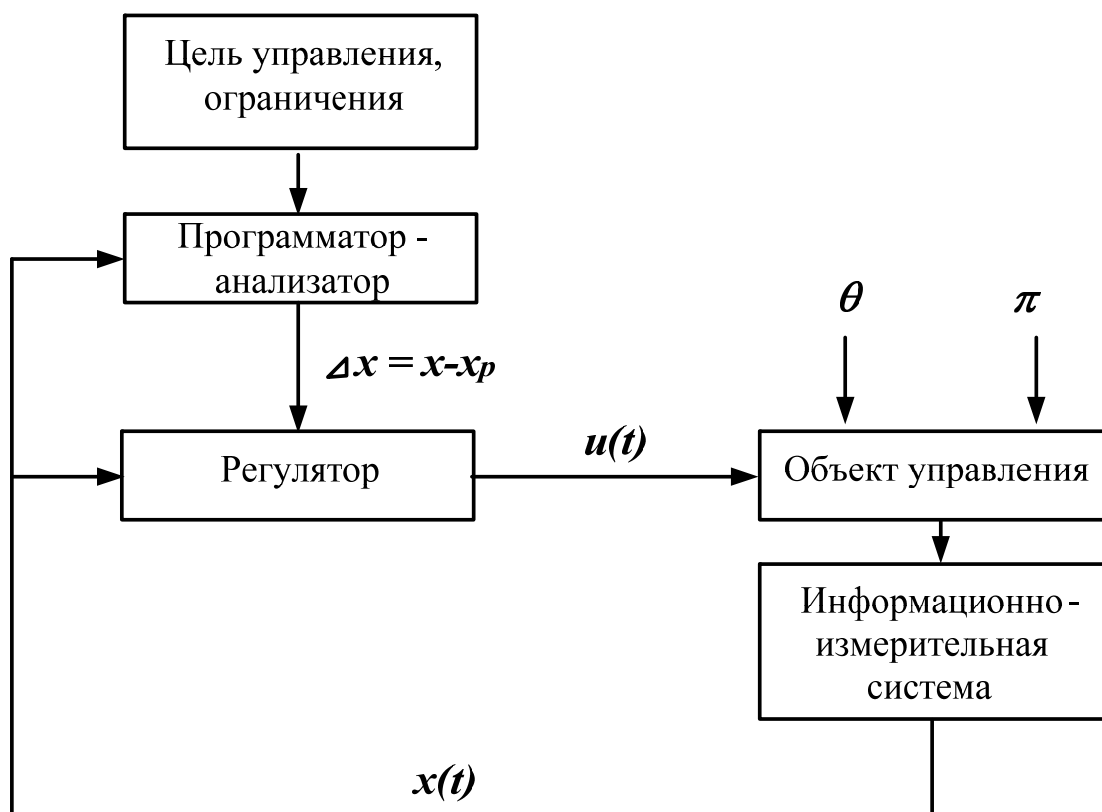


Рис.3. Обобщенная структурно-функциональная схема адаптивных систем точной синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС

Информационно-измерительная система регистрирует значения текущих параметров $x(t)$ объекта управления и передает их на программатор-анализатор системы. Цель управления и ограничения на параметры $x(t)$ и $x_p(t)$ формируются как задание для программатора-анализатора, исходным (задающим) блоком системы.

По этой обобщенной схеме в диссертации построены и приведены полные структурно-функциональные схемы систем точной синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС.

Заключение

Существующие тенденции развития мини-ЭЭС определяют необходимость дальнейшего развития средств и методов управления процессами синхронизации генераторов и подсистем, как одной из задач актуальной проблемы повышения эффективности работы этих систем.

Теоретические предпосылки и полезные практические аналоги для создания более эффективных систем точной автоматической синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС содержатся в разработках и положениях теории построения адаптивных систем управления программным движением объектов. Принципиальную основу этой теории составляет положение о раздельном решении задач

формирования ПТД объектов и построения управлений, обеспечивающих движение по этим траекториям.

В теоретическом плане важно обосновать соответствие методов построения адаптивных СУПД технических объектов задачам синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС. В практическом плане для применения этого подхода к решению задач синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС необходимо решение ряда методических и технических задач.

Наметившееся в последние годы интенсивное распространение плавноуправляемых устройств в энергосистемах позволяет с новых позиций рассматривать задачу точной синхронизации подсистем мини-ЭЭС. Использование этих устройств в качестве силовых элементов позволит с большей гибкостью формировать законы и синтезировать системы точной синхронизации подсистем мини-ЭЭС.

Основные результаты по достижению поставленной цели исследований представлены в виде выводов к разделам диссертации. Наиболее важные из них формулируются так:

1. Разработаны способ и структурно-функциональные схемы устройств точной автоматической синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС, реализующие принцип управления по программным траекториям движения объектов.

2. Предложена новая форма ПТД управляемого объекта в составе синхронизируемой подсистемы, позволяющая исключить скачкообразные изменения параметров управляющих устройств.

3. Разработана структурно-функциональная схема адаптивного синхронизатора для подсистем мини-ЭЭС с использованием ПТД в качестве эталонной модели и СТК в качестве силового элемента.

4. Показано, что обобщенная структурно-функциональная схема, используемая в теоретических исследованиях адаптивных СУПД управляемых объектов, может быть принята в качестве концептуальной основы для разработки адаптивных синхронизаторов мини-ЭЭС. Задачи функционирования подсистем, предполагаемых к разработке адаптивных синхронизаторов мини-ЭЭС, логически согласуются с задачами функционирования блоков обобщенной схемы.

На основании этих и других результатов работы можно говорить о том, что к настоящему времени обоснована применимость принципа управления по программным траекториям движения для решения задач синхронизации генераторов и подсистем мини-ЭЭС. Создание синхронизаторов, работающих на этом принципе, позволит управлять процессами движения до полного выполнения условий точной синхронизации. Результаты моделирования работы алгоритмов и синтеза структурно-функциональных схем подтверждают тезис о реализуемости и потенциальной эффективности адаптивных синхронизаторов, построенных на этом принципе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ПРЕДСТАВЛЕНО В ПУБЛИКАЦИЯХ

1. Абеуов Р.Б., Барановский И.Д. Рассмотрение регулирующих способностей газотурбинных электростанций (ГТЭС) малой мощности // Материалы десятой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: Экология, надежность, безопасность». – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – С.49-50.
2. Абеуов Р.Б., Барановский И.Д. О применении нетрадиционных средств для управления режимами децентрализованных электроэнергетических систем // Материалы одиннадцатой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: Экология, надежность, безопасность». – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – С. 46-48.
3. Абеуов Р.Б., Барановский И.Д., Хрущев Ю.В. Условия работы газотурбинных станций в электроэнергетических системах // 38 Вестник УГТУ-УПИ. «Проблемы управления электроэнергетикой в условиях конкурентного рынка»: Сборник трудов/ отв.ред. П.И. Бартоломей. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2005. – №12(64). – С.306-308.
4. Абеуов Р.Б., Барановский И.Д. Управление динамическими переходами малых электростанций // Наука. Технологии. Инновации.: Материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых в 7-ми частях. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – С. 89-90.
5. Абеуов Р.Б., Хрущев Ю.В. Задачи построения систем автоматического управления динамическими переходами децентрализованных энергосистем // «Известия вузов «Электромеханика». – Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2006. – №3. – С. 107-111.
6. Абеуов Р.Б. К вопросу синтеза адаптивных систем автоматического управления динамическими переходами децентрализованных энергосистем // Современные техника и технологии: Материалы тринадцатой Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, – Т.1. – 2007. – С. 13-15.
7. Абеуов Р.Б., Батаршинов Т.Р. Анализ возможностей комплексов моделирования режимов энергосистем // Современные техника и технологии: Материалы тринадцатой Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, – Т.1. – 2007. – С. 18-19.
8. Абеуов Р.Б. Управление генераторами электростанций по программным траекториям движения технических объектов // Электромеханические преобразователи энергии: Материалы

- Международной научно-технической конференции. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2007. – С. 95.-97.
9. Абеуов Р.Б., Батаршинов Т.Р. О проблемах эксплуатации электростанций малой мощности в автономных энергосистемах // Энергосбережение и энергетическая безопасность регионов России: Материалы восьмого Всероссийского совещания. – Томск: ТМДЦ «Технопарк». – 2007. – С. 89-92.
 10. Абеуов Р.Б. Алгоритм синхронизации несинхронно работающих частей энергосистемы в паузе автоматического повторного включения // Материалы тринадцатой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: Экология, надежность, безопасность». – Томск: Изд-во ТПУ. – 2007. – С. 5-7.
 11. Абеуов Р.Б., Батаршинов Т.Р. Разработка способа управления процессом синхронизации генераторов с сетью с использованием статического тиристорного компенсатора // Знания, умения, навыки – путь к созданию новых инженерных решений: Материалы Университетской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых посвященная 100-летию со дня рождения Н.В. Никитина. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2007 – С. 7-8.
 12. Абеуов Р.Б., Батаршинов Т.Р. Разработка способа автоматической точной синхронизации генераторов с сетью с фиксированным временем управления // Наука. Технологии. Инновации.: Материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых в 7-ми частях. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2007. – С. 186-189.
 13. Абеуов Р.Б., Заповодников К.И., Тановицкий Ю.Н., Хрущев Ю.В. Автоматическое управление процессом синхронизации генераторов мини-ТЭС по программным траекториям движения технических объектов // «Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники». – Томск: Изд-во ТУСУР, 2007. – №2(16). – С. 180-185.
 14. Абеуов Р.Б., Шелякина Е.В., Батаршинов Т.Р. Использование управляемого шунтирующего реактора для решения задач управления динамическими переходами электростанций малой мощности // Современные техника и технологии: Материалы четырнадцатой Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, – Т.1. – 2008. – С. 121-123
 15. Абеуов Р.Б., Романов Р.О., Батаршинов Т.Р. О возможности управления синфазным АВР по программным траекториям движения // Современные техника и технологии: Материалы четырнадцатой Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, – Т.1. – 2008. – С. 96-97.
 16. Абеуов Р.Б., Батаршинов Т.Р. Программное управление процессом синхронизации генераторов с сетью // Современные техника и

- технологии: Материалы четырнадцатой Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, – Т.1. – 2008.– С. 11-12.
- 17.Абеуов Р.Б., Батаршинов Т.Р. Разработка алгоритма автоматической точной синхронизации генераторов с сетью с фиксированными небалансами мощностей не валу // Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования: Материалы всероссийской научно-технической конференции. – Томск: Изд-во ТПУ. –2008.– С. 174-176.
- 18.Абеуов Р.Б., Барановский И.Д., Хрущев Ю.В. О задачах повышения эффективности использования нетрадиционных регулирующих устройств в системах электроснабжения нефтяных промыслов // Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования: Материалы всероссийской научно-технической конференции. – Томск: Изд-во ТПУ. –2008.– С. 152-153.
- 19.Пат. 75106 РФ МПК51 Н02J 3/42, Н02Р 9/42. Устройство для синхронизации возбужденной синхронной машины с сетью / Абеуов Р.Б., Джумик Д.В., Хрущев Ю.В. – Заявлено 03.03.2008; Опубл. 20.07.2008.
- 20.Абеуов Р.Б., Заповодников К.И., Хрущев Ю.В. О возможности автоматического управления процессом точной синхронизации генераторов мини-ТЭС по программным траекториям движения // «Известия вузов «Проблемы энергетики». – Казань: Изд-во КГЭУ. – 2008. – № 7-8/1. – С. 43-47.