

УДК 621.311

Е.Ю. САПЦЫНА, аспирант (НИ ТПУ)
Р.Б. АБЕУОВ, к.т.н., доцент (НИ ТПУ)
г. Томск

**АЛГОРИТМ ТОЧНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ЭНЕРГОРАЙОНА
С СЕТЬЮ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПО ПРОГРАММНЫМ
ТРАЕКТОРИЯМ ДВИЖЕНИЯ**

На предприятиях нефтегазового комплекса, осуществляющих добычу углеводородов, активно вводятся в эксплуатацию объекты распределенной генерации, основу которых составляют газотурбинные (ГТЭС) и газопоршневые (ГПЭС) электростанции. Объекты генерации размещаются непосредственно на нефтяных месторождениях по месту добычи попутного нефтяного газа и обеспечивают электроснабжение промышленных технологических объектов и инфраструктуры.

Газотурбинные и газопоршневые электростанции обычно эксплуатируются либо автономно, либо в составе энергорайонов, параллельно с сетью энергосистемы (ЭС) [1, 2]. В таких энергорайонах собственная генерация и нагрузка примерно сбалансированы, а дефицит мощности покрывается из энергосистемы. Связь энергорайонов с ЭС осуществляется по линиям электропередачи напряжением 6 – 110 кВ от ближайших центров питания (ЦП) районных распределительных сетей. Пример схемы присоединения энергорайона к электрической сети ЭС изображен на рисунке 1.

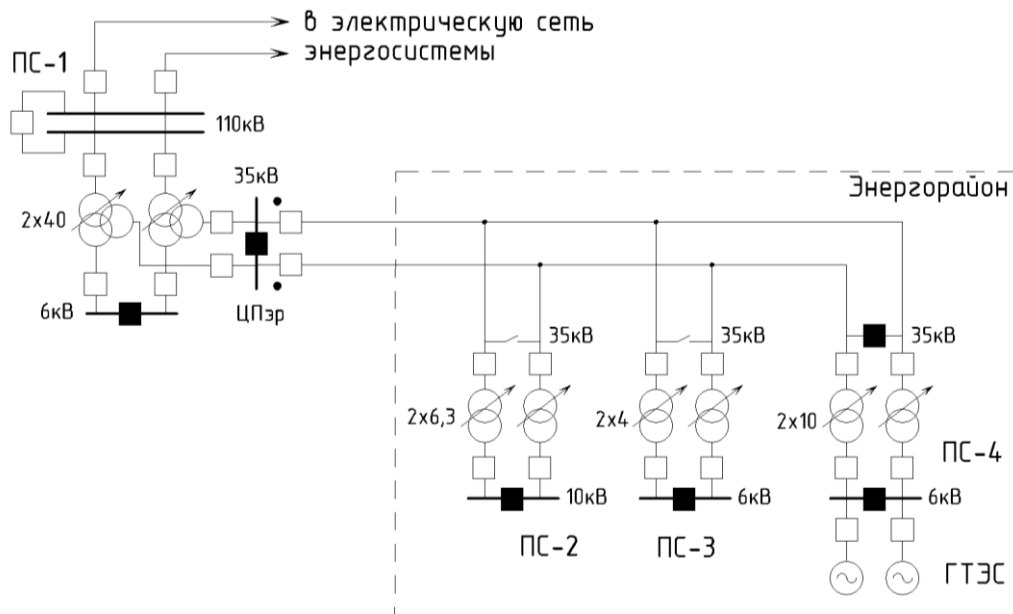


Рисунок 1 – Схема присоединения энергорайона к электрической сети энергосистемы

Режим параллельной работы позволяет покрывать дефицит генерируемой мощности в энергорайоне из ЭС, а также сохранять электроснабжение потребителей, при аварийном отключении объектов генерации. При возникновении системных аварий в ЭС, энергорайон с электростанцией выделяется на изолированный режим работы, что позволяет обеспечивать надежное электроснабжение потребителей энергорайона. Однако после ликвидации системных аварий и восстановления нормального режима работы ЭС требуется обратное включение энергорайона на параллельную работу с сетью ЭС с соблюдением условий точной синхронизации. Синхронизация должна осуществляться в точках выделения энергорайона на изолированную работу, как правило, это точки присоединения питающих линий электропередачи к шинам центра питания (рисунок 1).

Для синхронизации энергорайона с сетью ЭС в указанных точках используются автоматические устройства, применяемые для синхронизации генераторов. Однако, в виду того, что эти устройства устанавливаются на шинах ЦП, а не на генераторах, у них отсутствует возможность регулирования напряжения и частоты. В связи с чем, при осуществлении включения на параллельную работу энергорайона с сетью ЭС, автоматические устройства синхронизации из трех условий точной синхронизации могут обеспечивать только одно – контроль угла разности фаз. Фактически устройства не управляют процессом синхронизации, а ожидают попадания

угла разности фаз в допустимый для синхронизации диапазон, после чего подается команда на включение линейного выключателя.

Одним из способов автоматического управления, который может быть положен в основу построения устройств точной автоматической синхронизации энергорайона с сетью ЭС, позволяющего обеспечить управление процессом синхронизации с достаточной скоростью и точностью включения, является способ управления по программным траекториям движения (ПТД) технических объектов [3-5]. Суть этого способа заключается в разделении задачи синтеза систем управления на подзадачу построения программных (желаемых) траекторий движения технических объектов и подзадачу формирования управляющих воздействий, обеспечивающих эти траектории управлений.

Под термином ПТД электроэнергетической системы в переходном режиме в общепринятом смысле понимают совокупность зависимостей параметров режима от времени, которая в математическом представлении трактуется, как траектория движения изображающей точки в многомерном вещественном пространстве. Координатами этой точки являются независимая переменная (время) и фазовые переменные (параметры режима), определяющие состояние энергосистемы в рассматриваемый момент времени.

Говоря о синхронизации энергорайона с сетью ЭС, координатами изображающей точки, движущейся по ПТД, должны быть параметры, отражающие пространственное и энергетическое состояние ротора генератора, работающего в отделившемся от энергосистемы энергорайоне в каждый момент времени. В качестве управляемых параметров режима приняты: небаланс мощностей на валу генератора $\Delta P_y(t)$, угол $\delta_y(t)$ и относительная скорость $v_y(t)$ ротора генератора с постоянной инерции T_j .

Связь этих параметров между собой описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \dot{\delta}_y(t) = v_y(t); \\ \dot{v}_y(t) = \frac{\omega_0}{T_j} \Delta P_y(t). \end{cases}$$

При решении данной системы уравнений при заданных конечных значениях параметров могут быть получены расчетные формулы для определения граничных и текущих значений ПТД, характеризующих закон управления. При этом одним из явных преимуществ данного способа является то, что отсутствует необходимость в расчете времени и угла опереже-

ния, так как ротор генератора к концу управления приходит с нулевыми значениями относительной кинетической и потенциальной энергий.

На основе принципа управления по ПТД разработан алгоритм синхронизации энергорайона с сетью ЭС, представленный на рисунке 2.

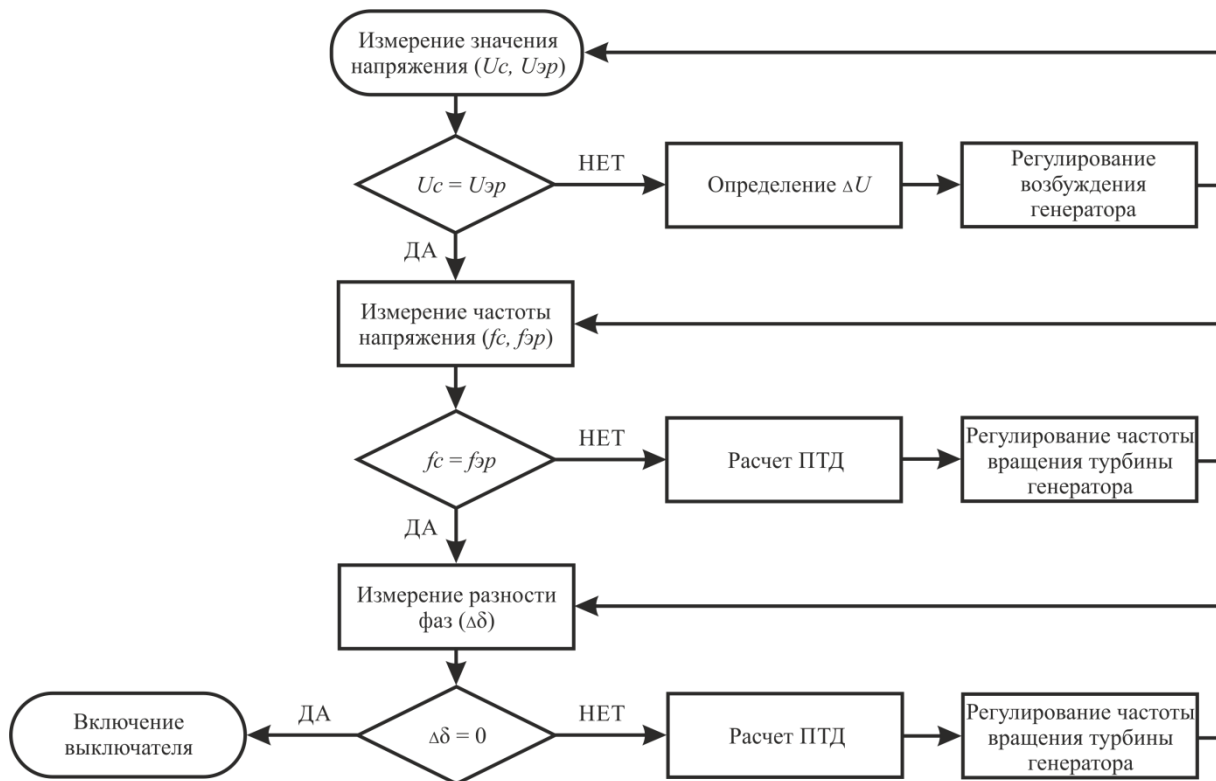


Рисунок 2 – Алгоритм синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы по программным траекториям движения

Действие алгоритма направлено на осуществление управление процессом синхронизации, позволяющим с достаточной скоростью и точностью обеспечить включение энергорайона на параллельную работу с сетью ЭС. Исходными данными для действия алгоритма являются непрерывно измеряемые параметры режимов энергорайона и энергосистемы. К таким параметрам относятся значения напряжения, частоты и фазового угла.

На первом шаге алгоритма, на основании измеренных параметров, осуществляется сравнение значений напряжений. Сравнение осуществляется между значениями напряжения сети энергосистемы (U_c) и энергорайона ($U_{эp}$) в точке присоединения к сети энергосистемы (ЦП). Данный шаг алгоритма имеет два альтернативных исхода и подразумевает выбор только одного из них. Если значение напряжения энергорайона равно значению напряжения ЭС, то дальнейшее действие алгоритма направлено на сравнение текущих значений частоты. Если значение напряжения энергорайона

отлично от значения напряжения ЭС, то действие алгоритма направлено на приведение значения напряжения энергорайона к значению напряжения энергосистемы посредством регуляторов возбуждения генераторов энергорайона.

На втором шаге алгоритма, на основании измеренных параметров, осуществляется сравнение значений частоты. Сравнение осуществляется между значениями частоты сети энергосистемы (f_c) и энергорайона ($f_{ЭР}$). Данный шаг алгоритма имеет два альтернативных исхода и подразумевает выбор только одного из них. Если значение частоты энергорайона равно значению частоты ЭС, то дальнейшее действие алгоритма направлено на сравнение фазовых углов. Если значение частоты энергорайона отлично от значения частоты ЭС, то действие алгоритма направлено на приведение значения частоты энергорайона к значению частоты энергосистемы путем управления по ПТД.

На третьем шаге алгоритма, на основании измеренных параметров, осуществляется сравнение значений фазовых углов. Сравнение осуществляется между значениями фазового угла сети энергосистемы и энергорайона. Данный шаг алгоритма имеет два альтернативных исхода и подразумевает выбор только одного из них. Если разность фазовых углов сети ЭС и энергорайона не образует нулевое значение, то действие алгоритма направлено на приведение фазового угла энергорайона к сети ЭС путем управления по ПТД. Если разность фазовых углов соответствует нулевому значению, то действие алгоритма считается завершенным, подается сигнал на синхронизацию энергорайона с сетью ЭС посредством включения линейного выключателя.

Представленный алгоритм синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы, построенный на основе принципа управления по программным траекториям движения технических объектов, позволяет обеспечить эффективное управление основными режимными параметрами энергорайона для осуществления точной синхронизации с сетью энергосистемы. Данный алгоритм синхронизации также позволяет значительно сократить время и повысить точность включения энергорайона на параллельную работу с сетью энергосистемы.

Список литературы:

1. 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 конку-

рентного рынка: Сборник трудов / отв. ред. П. И. Бартоломей. Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2005. – №12(64). – С. 306-308.

2. Шабалина Ю. В., Абеуов Р. Б. О проблемах подключения энерго-районов с электростанциями малой мощности к электрическим сетям энергосистем // Интеллектуальные энергосистемы труды II Международного молодёжного форума, 6-10 октября 2014 г., г. Томск: в 2 т.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2014. – Т. 2. – С. 179-183.

3. 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.

4. Хрущев Ю.В. Управление движением генераторов в динамических переходах энергосистем. – Томск: STT, 2001. – 310 с.

5. Абеуов Р. Б., Хрущёв Ю. В. Автоматическое управление процессом точной синхронизации генераторов с сетью по программным траекториям движения // Электричество теоретический и научно-практический журнал: / Российская академия наук (РАН), Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления; Научно-техническое общество энергетики и электротехнической промышленности. – 2009. – № 12. — С. 32-36.

Информация об авторах:

Сапцына Елизавета Юрьевна, аспирант гр. А0-42, НИ ТПУ, 634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 30, lizoksu@gmail.com

Абеуов Ренат Болтабаевич, к.т.н., доцент, НИ ТПУ, 634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 30, ABeuov_RB@List.ru