

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

227-1

20-22 октября 2022 года

УДК 621.311

Е.Ю. САПЦЫНА, аспирант (НИ ТПУ)

Р.Б. АБЕУОВ, к.т.н. (НИ ТПУ)

г. Томск

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

Основу генерации энергорайонов, работающих параллельно с сетью энергосистемы, как правило, составляют объекты распределенной генерации. Связь таких энергорайонов с сетью энергосистемы осуществляется по одноцепным или двухцепным линиям электропередачи с двухсторонним питанием напряжением 6 – 110 кВ от ближайших узловых подстанций районных распределительных сетей. Пример схемы электрической сети энергорайона представлен на рисунке 1.

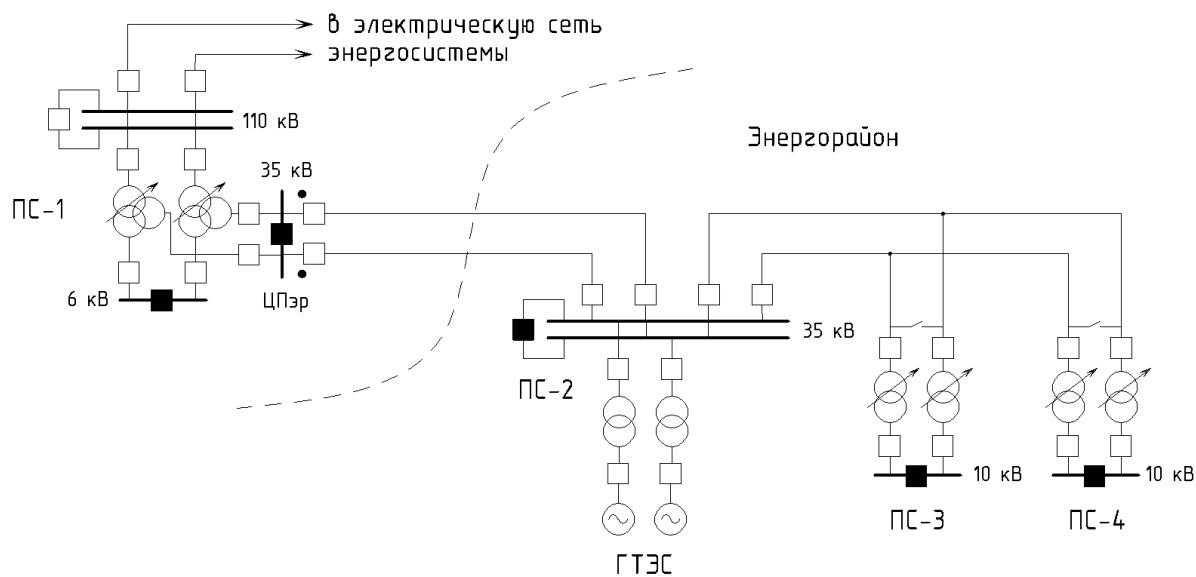


Рис.1 – Схема электрической сети энергорайона

При возникновении короткого замыкания на одной из питающих линий электропередачи в паузе автоматического повторного включения (АПВ) часть генераторов станции энергорайона на определенное время выделяется на изолированный режим работы.

АПВ линии электропередачи с двусторонним питанием имеет особенности, которые вызваны наличием напряжения по обоим концам линии

V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

227-2

20-22 октября 2022 года

электропередачи, что при отключении этой линии, вызванным коротким замыканием, приведет к несинхронной работе двух частей энергосистемы.

В настоящее время, для синхронизации разделившихся частей энергосистемы широкое применение нашли схемы АПВ с улавливанием и ожиданием синхронизма, позволяющие осуществлять включение при условии, когда напряжения по обоим концам отключившейся линии электропередачи синхронны, или близки к синхронным, а угол между напряжениями не превышает определенного значения [1]. Однако предложенные схемы обладают рядом недостатков. Их применение, подразумевает задержку по времени, образующуюся при ожидании совпадения режимных параметров разделившихся частей энергосистемы, определяемых условиями синхронизации. Это обстоятельство может существенно затянуть время включения энергорайона на параллельную работу с сетью энергосистемы, а допустимость приближенного совпадения режимных параметров не всегда обеспечивает требуемое качество переходного процесса [2].

Для решения данных задач необходима разработка такого устройства АПВ с контролем синхронизма, принципом действия которого станет не ожидание совпадения, а регулирование параметров разделившихся частей энергосистемы, обеспечивающее их синхронное включение в цикле АПВ с высокой точностью. В процессе разработки подобного устройства возникают вопросы выбора способа и средства, а также разработки соответствующего алгоритма управления.

В рамках данных исследований, в качестве принципа автоматического управления, который положен в основу алгоритма управления процессом синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы в цикле АПВ, является принцип управления по программным траекториям движения (ПТД) технических объектов. Суть этого способа заключается в разделении задачи синтеза систем управления на подзадачу построения программных траекторий движения технических объектов и подзадачу формирования обеспечивающих эти траектории управлений [3].

Описание общего принципа управления по ПТД неоднократно приводилось в ранее опубликованных работах [3, 4].

На основе принципа управления по ПТД разработан алгоритм точной синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы по программным траекториям движения в цикле АПВ, алгоритм приведен на рисунке 2.

V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

227-3

20-22 октября 2022 года

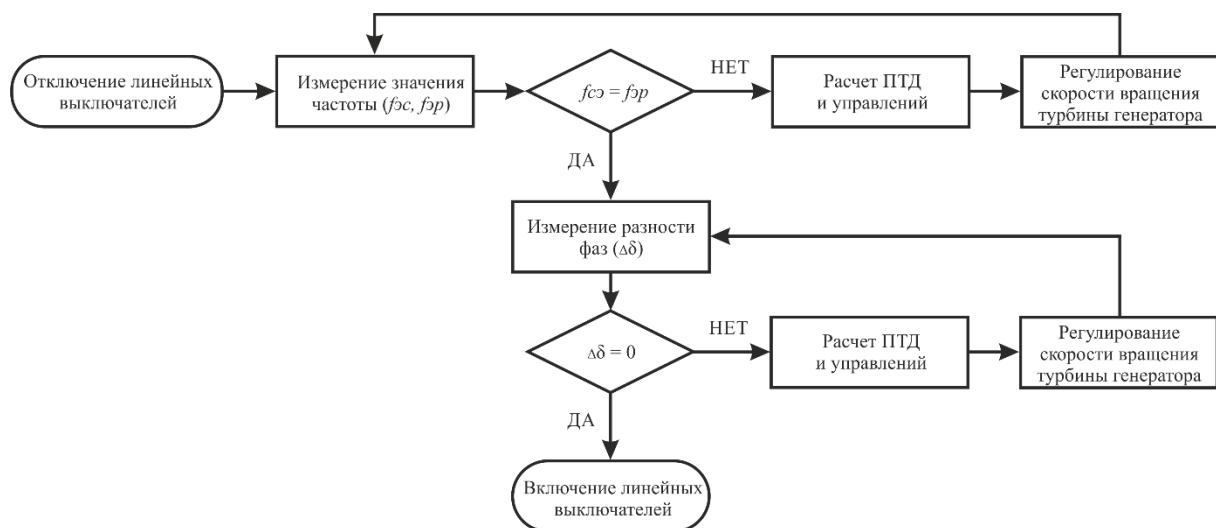


Рис.2 – Алгоритм точной синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы по программным траекториям движения в цикле АПВ

Действие алгоритма направлено на осуществление быстрого и точного включения энергорайона на параллельную работу с сетью энергосистемы в цикле АПВ. Исходными данными для действия алгоритма являются непрерывно измеряемые параметры режимов энергорайона и энергосистемы. К таким параметрам относятся значения частот энергосистемы ($f_{\text{ЭС}}$) и энергорайона ($f_{\text{ЭР}}$), а также угол разности фаз ($\Delta\delta$).

Началом работы алгоритма является сигнал о состоянии линейных выключателей, отключенных действием релейной защиты после возникновения короткого замыкания на линии электропередачи. Условно действие алгоритма можно разделить на два этапа.

На первом этапе алгоритма осуществляется измерение и сравнение значений частот энергосистемы и энергорайона, а также, в случае их неравенства, регулирование $f_{\text{ЭР}}$ в сторону сближения с $f_{\text{ЭС}}$ путем управления по ПТД.

На втором этапе алгоритма осуществляется измерение и сравнение разности фазовых углов между векторами напряжений энергосистемы и энергорайона, а также, при необходимости, их регулирование в сторону нулевого значения путем управления по ПТД.

Окончанием действия алгоритма является повторное включение выключателей линии электропередачи действием АПВ, сопровождающееся равенством частот энергосистемы и энергорайона и нулевым значение угла разности фаз между векторами их напряжений.

Моделирование алгоритма выполнялось на расчетной модели, созданной в программном комплексе MATLAB Simulink. Результаты

V Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

227-4

20-22 октября 2022 года

моделирования процесса точной синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы в цикле АПВ приведены на рисунке 3.

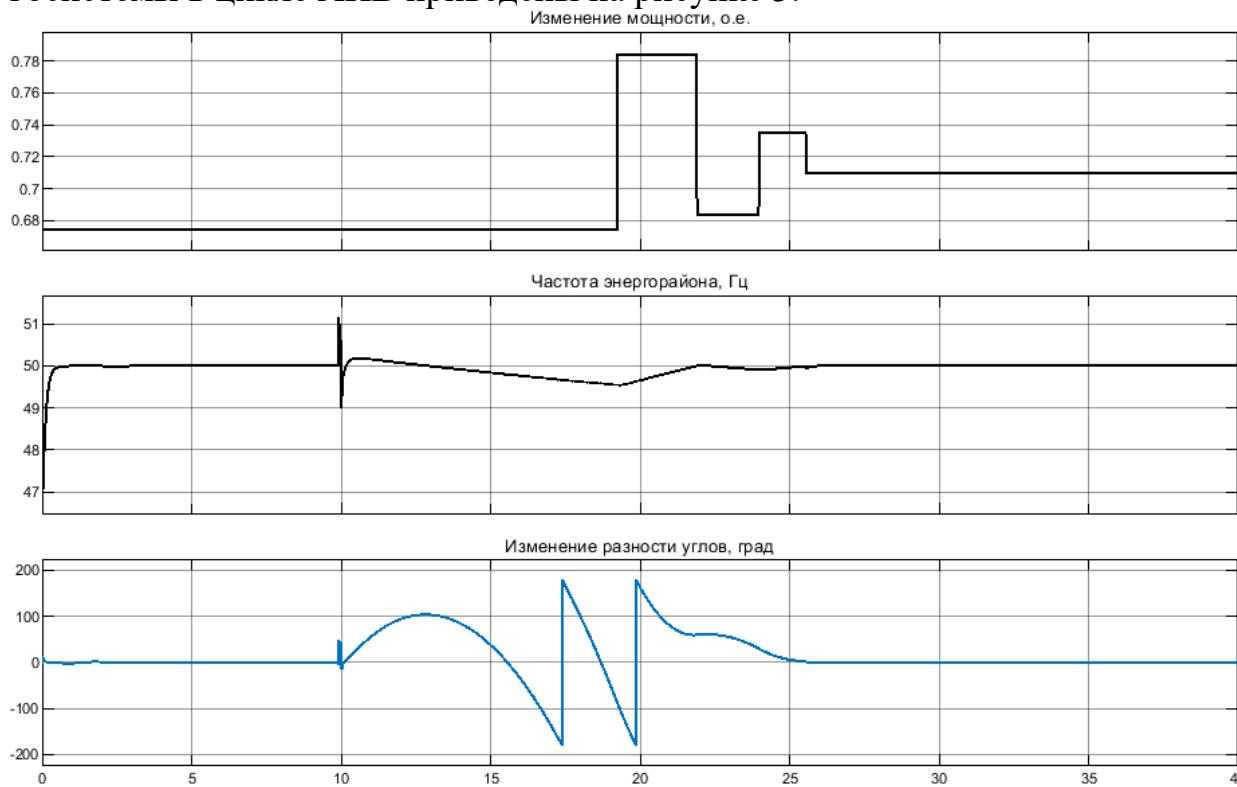


Рис.3 – Результаты моделирования процесса точной синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы в цикле АПВ

Представленный алгоритм точной синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы по программным траекториям движения в цикле АПВ позволяет обеспечить эффективное управление параметрами режима энергорайона, значительно сокращает время и повышает точность включения энергорайона на параллельную работу с сетью энергосистемы в цикле АПВ. Разработанный алгоритм может быть использован при создании современных устройств АПВ с контролем синхронизма.

Список литературы:

1. Ефремова И. А. Разработка алгоритма синхронизации несинхронно работающих частей энергосистемы в цикле автоматического повторного включения // Электромеханические преобразователи энергии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Томск, 2009. – С. 159.
2. Абеуов Р. Б. Алгоритм синхронизации несинхронно работающих частей энергосистемы в паузе автоматического повторного включения //

**V Всероссийская (с международным участием) молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

227-5

20-22 октября 2022 года

Энергетика: экология, надежность, безопасность: материалы докл. Всерос. науч.-техн. конф. – Томск, 2007 . – С. 5-7.

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

4. Абеуов Р.Б. Автоматическое управление процессом синхронизации генераторов мини-ТЭС по программным траекториям движения технических объектов / Абеуов Р.Б., Заподников К.И., Тановицкий Ю.Н., Хрущев Ю.В. // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2007. – №2(16). – С. 180-185.

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., НИ ТПУ, 634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 30, Abeuov_RB@List.ru