

**УДК 621.316**

И.А. РЫНДИН, студент (НИ ТПУ)  
Р.Б. АБЕУОВ, к.т.н., доцент (НИ ТПУ)  
г. Томск

### **АДАПТИВНАЯ ДЕЛИТЕЛЬНАЯ АВТОМАТИКА ПО ЧАСТОТЕ ДЛЯ ЭНЕРГОРАЙОНОВ С ОБЪЕКТАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ**

Мировая практика показывает, что в последнее время наблюдаются устойчивые тенденции к росту энергопотребления. Для покрытия возрастающих нагрузок на сегодняшний день помимо традиционных крупных гидравлических и тепловых электростанций активное применение находят объекты распределенной генерации (ОРГ).

В развитых странах среди всех типов объектов распределенной генерации большое внимание уделяется возобновляемым источникам энергии (солнечным, ветряным, геотермальным, мини-ГЭС и т.д.). Однако в нашей стране развитие «малой энергетики» осуществляется в основном за счет ввода тепловых электростанций с эффективными установками на газовом или дизельном топливе. К ним относятся электростанции с газотурбинными (ГТУ) и газопоршневыми (ГПУ) установками.

Подключение ОРГ на параллельную работу с электроэнергетической системой (ЭЭС) имеет ряд особенностей, которые не характерны для крупных электростанций [1]. Данные особенности оказывают влияние на решение задач по обеспечению надежности электроснабжения, поддержанию параметров режима в допустимых пределах, а также предотвращению и ликвидации нарушений нормального режима, как в энергорайонах с ОРГ, так и в прилегающей сети ЭЭС.

Ключевым показателем качества электроэнергии и важнейшим параметром режима энергосистемы является частота. Регулирование частоты электрического тока в ЭЭС России осуществляется в соответствии с требованиями стандарта [2]. Значительное снижение частоты приводит к аварийному отключению генераторов электростанций и массовому отключению потребителей электрической энергии.

При возникновении крупной системной аварии, приводящей к снижению частоты до недопустимых значений, в районах с ОРГ, также, как и в ЭЭС будут работать устройства автоматической частотной разгрузки (АЧР), осуществляя отключение потребителей для восстановления баланса активной мощности в ЭЭС. Данный способ регулирования частоты являет-

ся довольно эффективным, однако может приводить к массовому отключению потребителей в энергорайонах с ОРГ.

Другим способом регулирования частоты в энергорайонах с ОРГ при системных авариях является выделение таких энергорайонов на изолированную работу. Этот способ позволяет избежать массового отключения потребителей действием АЧР, однако довольно часто приводит к останову агрегатов ГПЭС и ГТЭС при выделении энергорайона на изолированную работу с небалансом мощности. Причиной тому является низкое быстродействие делительной автоматики (ДА) по частоте и медленная разгрузка действием АЧР, направленная на выравнивание баланса мощности.

Исследования показали, что выделение энергорайона с ОРГ на изолированную работу, может быть эффективным способом обеспечения бесперебойной работы потребителей при возникновении системной аварии, приводящей к снижению частоты в ЭЭС, однако требует разработки новых быстродействующих устройств ДА по частоте.

Согласно результатам анализа эффективности существующих устройств ДА, эксплуатируемые в настоящее время комплексы реализуют выделение энергорайонов с ОРГ только по факту изменения частоты в ЭЭС, не осуществляя при этом текущего контроля параметров режима в энергорайоне с ОРГ и не подстраиваясь под их изменение.

Решением данной проблемы может стать разработка адаптивной делительной автоматики (АДА) по частоте, способной осуществлять:

- непрерывное измерение текущих режимных параметров энергосистемы и энергорайона с ОРГ;
- непрерывный расчёт объёмов управляющих воздействий (УВ);
- выдачу команд на отключение нагрузок (ОН) и передачу информации об объёмах УВ на подстанции энергорайона при его отделении от энергосистемы с последующим контролем их реализации через систему сбора и передачи информации (ССПИ).

Разработка АДА по частоте позволит обеспечить решение следующих задач:

- выделение энергорайона с ОРГ на изолированную работу при аварийных снижениях частоты в энергосистеме с сохранением устойчивой работы генераторов;
- сохранение электроснабжения ответственной двигательной нагрузки энергорайона с ОРГ при его выделении на изолированную работу.

Принцип работы данного устройства заключается в том, что определение объёма управляющих воздействий и их выдача на подстанции энергорайона с ОРГ осуществляется на основании оценки текущих параметров режима ЭЭС и энергорайона.

Для решения поставленных задач АДА должна соответствовать современным требованиям быстродействия и адаптивности. Быстродействие достигается тем, что величина УВ определяется до возникновения аварийного режима и, соответственно, до реализации команды деления сети (ДС). При этом формирование УВ и выдача команды на ОН осуществляется в момент ДС. Адаптивность устройства обеспечивается за счет функции автоматического пересчета УВ по результатам полученной информации о параметрах энергорайона с ОРГ и ЭЭС в режиме реального времени и обработке её в доаварийном режиме. Тем самым исключается возможность избыточного отключения нагрузки.

На рисунке 1 представлена структурная схема адаптивной делительной автоматики по частоте.

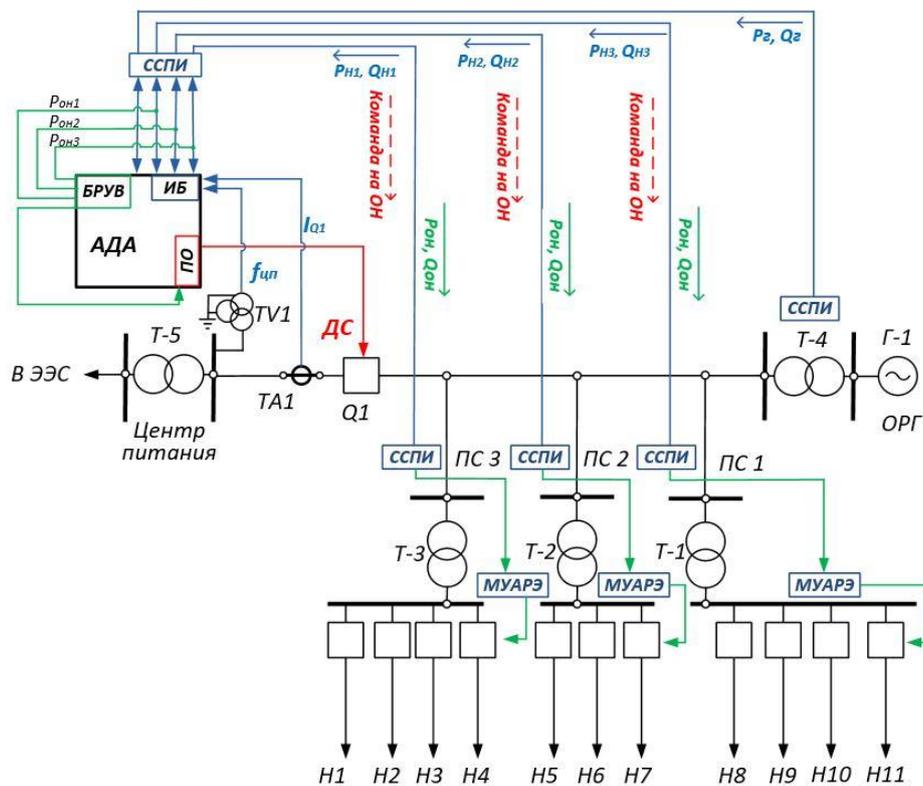


Рисунок 1 – Структурная схема адаптивной делительной автоматики по частоте

Адаптивная делительная автоматика по частоте энергорайона с ОРГ должна включать в себя следующие основные элементы: измерительный блок (ИБ); передатчик/приемник ССПИ; пусковой орган (ПО); вычислительный блок (ВБ); блок распределения управляющих воздействий (БРУВ); исполнительные органы (ИО), реализующие управляющие воздействия.

Адаптивная делительная автоматика по частоте действует на отключение выключателя  $Q1$  от ПО при снижении частоты  $f$ . В ИБ должно осуществляться измерение частоты на шинах центра питания (ЦП), активной и реактивной мощностей, отпускаемых в энергорайон с ОРГ от ЭЭС, а также значений потребляемых и вырабатываемых мощностей на подстанциях потребителей и объектах генерации энергорайона. Для чего, необходимо обеспечить интеграцию АДА с системой сбора и передачи информации отдельных объектов энергорайона.

Особенностью данного комплекса ПА является наличие вычислительного блока. Его задача – непрерывный расчёт объемов УВ по данным текущих измерений параметров режима со стороны ЭЭС и со стороны энергорайона с ОРГ. Рассчитанный объем УВ направляется в БРУВ, с последующей переадресацией в устройства ССПИ, которые в свою очередь отдадут команды на разгрузку соответствующей подстанции.

Для более подробного описания на рисунке 2 представлена структурно-функциональная схема АДА по частоте.

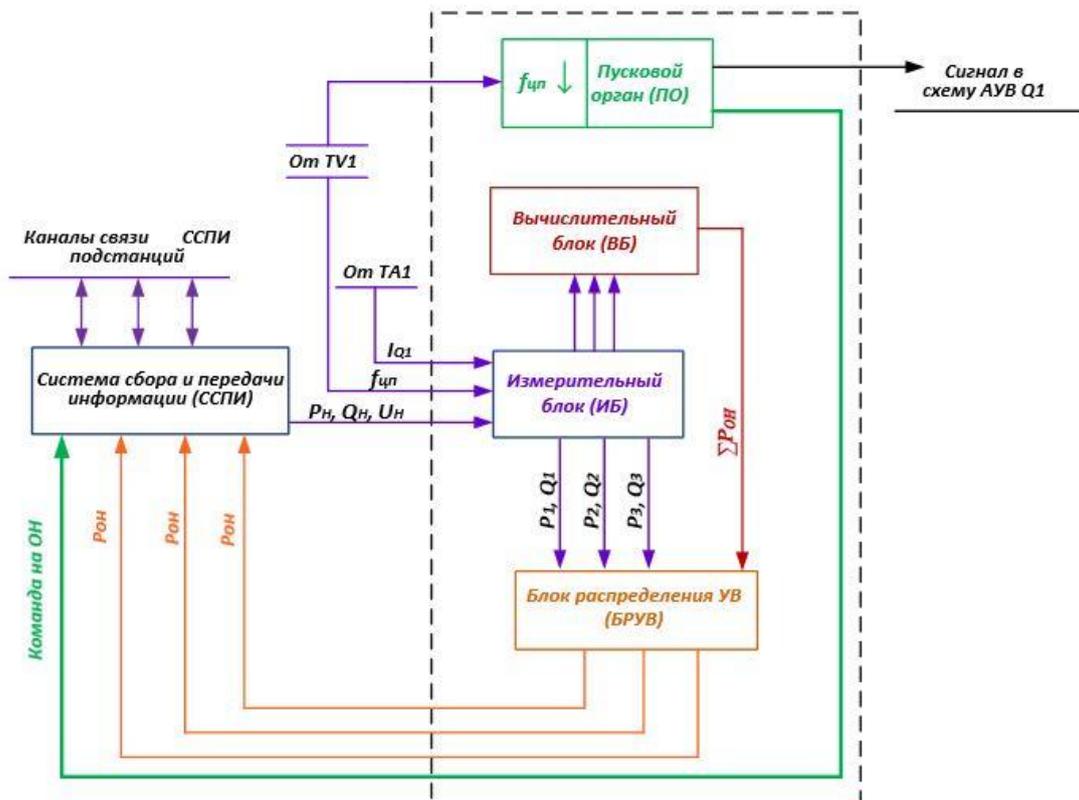


Рисунок 2 – Структурно-функциональная схема адаптивной делительной автоматике по частоте

АДА работает следующим образом. При возникновении системной аварии в ЭЭС, приводящей к недопустимому снижению  $f$ , установленный на шинах центра питания ПО по факту снижения  $f$  ниже уставки срабатывания формирует команду на деление сети. Команда ДС направляется в схему автоматики управления выключателем (АУВ) Q1.

Одновременно с этим на основании последних измеренных параметров ВБ рассчитывает объем УВ на отключение части нагрузки. В общем виде суммарная активная мощность, которая подлежит отключению, вычисляется по формуле:

$$\Delta P_{откл.нагр} = \frac{\sum P_G}{1,05} - \sum P_{нагр} \cdot \left(1 + \frac{(f_{ном} - f_{предш})}{f_{ном}} \cdot K_{pf}\right), \quad (1)$$

где  $\sum P_G$  – суммарная активная мощность, вырабатываемая генераторами энергорайона на момент, предшествующий выделению энергорайона, МВт;

$\sum P_{нагр}$  – суммарная активная мощность нагрузки энергорайона, на момент, предшествующий выделению энергорайона, МВт;

$f_{предш}$  – частота напряжения на шинах ЦП на момент, предшествующий выделению энергорайона, Гц;

$K_{pf}$  – коэффициент регулирующего эффекта нагрузки.

БРУВ осуществляет распределение общего объема УВ по подстанциям энергорайона. Распределение УВ должно происходить пропорционально измеренным значениям мощностей нагрузок потребителей. Для оптимального распределения УВ между подстанциями должен учитываться коэффициент участия нагрузки подстанции  $k_i$  в общем потреблении энергорайона:

$$k_i = \frac{P_{ni}}{P_{н\Sigma}} \quad (2)$$

Полученные коэффициенты умножаются на величину суммарного объема УВ ( $\Delta P_{откл}^\Sigma \cdot k_i$ ) и в виде цифровой информации по каналам ССПИ распределяются по подстанциям энергорайона.

В результате, на момент выделения энергорайона производится отключение части нагрузки с восстановлением баланса мощности в выделенном энергорайоне.

Внедрение данной адаптивной делительной автоматики по частоте, отвечающей современным требованиям быстродействия и адаптивности, позволит существенно повысить эффективность выделения энергорайонов с ОРГ на изолированную работу, а также повысить надежность электро-

снабжения потребителей энергорайонов с ОРГ в ситуациях, когда недопустимое снижение частоты в ЭЭС приводит к их массовому отключению.

Список литературы:

1. 1. Шабалина, Ю.В. О проблемах подключения энергорайонов с электростанциями малой мощности к электрическим сетям энергосистем [Текст] / Ю.В. Шабалина, Р.Б. Абеуов // Интеллектуальные энергосистемы: труды II Международного форума, 6-10 октября 2014 г., г. Томск. – т. 2. – С.179-183.

2. Стандарт организации: СТО 59012820.27.100.003-2012. «Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЭЭС России. Нормы и требования». – 2012.