



**СТРУКТУРНЫЙ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ
ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АДАПТИВНОЙ
ЧАСТОТНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

В.Р. Иванова, И.Ю. Иванов, В.В. Новокрещенов

**Казанский Государственный Энергетический университет,
Казань, Россия**

vr-10@mail.ru, igorivanov85@list.ru, vitnov@inbox.ru

Резюме: При системных авариях, связанных со снижением частоты с целью предотвращения полного погашения энергорайона и ускорения ликвидации аварии применяется частотная делительная автоматика (ЧДА). Существующие технические решения по реализации ЧДА не всегда обеспечивают баланс вырабатываемой и потребляемой мощности при действии ЧДА, поскольку не учитывается текущая схемно-режимная ситуация. Целью настоящей работы является разработка эффективных алгоритмов функционирования адаптивной ЧДА, осуществляющей выделение энергоблоков электростанции на сбалансированную нагрузку изолированного энергорайона с учётом текущей схемно-режимной ситуации. Для решения поставленной цели используется метод структурного и параметрического синтеза алгоритмов противоаварийного управления, который заключается в создании составной алгоритмической модели адаптивной ЧДА. Результатом данной работы является разработанная алгоритмическая модель адаптивной ЧДА электростанции, состоящая из алгоритмов ввода и обработки входных аналоговых сигналов ЧДА, алгоритмов ввода и обработки входных дискретных сигналов ЧДА, алгоритмов формирования пусковых органов ЧДА, алгоритмов выделения электростанции на сбалансированную нагрузку энергорайона. Предложенный алгоритм функционирования адаптивной ЧДА является универсальным и позволяет автоматически выделять энергоблоки электростанции на сбалансированную нагрузку изолированного энергорайона, вне зависимости от вида аварии и её причины, конфигурации электрической сети и величин выработки и потребления электроэнергии, а также текущей схемно-режимной ситуации.

Ключевые слова: системная авария, алгоритм, частотная делительная автоматика, электростанция, противоаварийное управление.

Для цитирования: Иванова В.Р., Иванов И.Ю., Новокрещенов В.В. Структурный и параметрический синтез алгоритмов противоаварийного управления для реализации адаптивной частотной делительной автоматики электротехнических систем // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019. Т. 21. № 4. С. 66-76. doi:10.30724/1998-9903-2019-21-4-66-76.

**STRUCTURAL AND PARAMETRIC SYNTHESIS OF ANTI-AVERAGE CONTROL
ALGORITHMS FOR REALIZING ADAPTIVE FREQUENCY OPERATING
AUTOMATICS ELECTROTECHNICAL SYSTEMS**

VR. Ivanova, IY. Ivanov, VV. Novokreshchenov

Kazan state power engineering university, Kazan, Russia

vr-10@mail.ru, igorivanov85@list.ru, vitnov@inbox.ru

Abstract: In the event of accidents in power systems associated with a reduction in frequency in order to prevent the complete repayment of the energy district and accelerate the elimination of the accident, frequency division automatics (FDA) are used. Existing technical solutions for the implementation of the FDA do not always provide a balance of the generated and consumed power under the action of the FDA, since the current circuit-mode situation is not taken into

account. The aim of this work is to develop effective algorithms for the functioning of adaptive FDA, which allocates power units of a power plant to a balanced load of an isolated energy district, taking into account the current circuit-mode situation. To achieve this goal, we use the method of structural and parametric synthesis of emergency control algorithms, which consists in creating a composite algorithmic model of adaptive FDA. The result of this work is the developed algorithmic model of an adaptive FDA of a power plant, consisting of input and processing algorithms for input analog signals of a FDA, algorithms for input and processing of input discrete signals of a FDA, algorithms for generating start-up organs of a FDA, algorithms for allocating a power plant to a balanced load of a power district. The proposed algorithm for the functioning of adaptive FDA is universal and allows you to automatically allocate power units of a power plant to a balanced load of an isolated energy district, regardless of the type of accident and its cause, the configuration of the electrical network and the values of electricity generation and consumption, as well as the current circuit-mode situation.

Keywords: system crash, algorithm, frequency dividing automatics, power station, emergency control.

For citation: Ivanova VR, Ivanov IY, Novokreshchenov VV. Structural and parametric synthesis of anti-average control algorithms for realizing adaptive frequency operating automaticselectrotechnical systems. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2019; 21(4):66-76. (In Russ). doi:10.30724/1998-9903-2019-21-4-66-76.

Введение

Одной из основных функций автоматической системы управления аварийными режимами в единой энергетической системе России является предотвращение недопустимого, по условиям устойчивой работы генерирующего оборудования и энергопринимающих установок потребителей электрической энергии, снижения частоты и полного погашения энергосистемы или ее части при возникновении дефицита активной мощности, в том числе при аварийном выделении энергосистемы или ее части на изолированную работу [1, 2].

Литературный обзор

Обзор масштабных системных аварий, имевших место в крупных энергосистемах мира, показал, что основной причиной погашения отделившихся районов является потеря генерирующих мощностей из-за каскадного развития аварий внутри данных энергорайонов [3–6].

Наиболее характерный сценарий развития системной аварии с выделением энергорайонов следующий. Потеря одной из линий связи энергорайона в результате устойчивого повреждения приводит к набросу мощности на оставшиеся в работе линии связи. В результате этого на данных линиях возникает термическая перегрузка или асинхронный режим, ликвидируемые автоматикой ограничения перегрузки оборудования (АОПО) или автоматикой ликвидации асинхронного режима (АЛАР), после чего происходит выделение района на изолированную работу (с дефицитом или избытком мощности) [7–8].

Выделение энергорайона с несбалансированной нагрузкой и генерацией тепловых электростанций (ТЭС) приводит к каскадному развитию аварии и полному обесточиванию района с потерей собственных нужд электростанции.

Эффективным мероприятием сохранения работоспособности собственных нужд электростанции при системных авариях, связанных со снижением частоты при выделении крупных энергорайонов или общесистемном снижении частоты, является частотная делительная автоматика (ЧДА), предназначенная для отделения электростанции или ее части на сбалансированную нагрузку. Применение этой автоматики имеет целью предотвращение полного погашения района и ускорение ликвидации аварии.

Однако в настоящее время на большей части тепловых электростанций в энергосистемах России реализуются мероприятия по выделению отдельных энергоблоков на собственные нужды и нагрузку района, имеющие ряд существенных недостатков:

1. Не учитывается режим работы электростанции, соотношение между генерирующей и потребляемой мощностями района, что существенно влияет на динамику развития аварии.
2. Не учитывается состояние схемы сети энергорайона и схема электростанции (ремонт, плановые отключения и т.д.).

3. Не учитывается эффективность действия автоматической частотной разгрузки (АЧР) до срабатывания пусковых органов ЧДА.

Для устранения перечисленных недостатков актуальной задачей является разработка решений по выделению ТЭС на нагрузку энергорайона или собственные нужды с целью обеспечения баланса вырабатываемой и потребляемой мощности при действии ЧДА с учётом действия АЧР и текущей схемно-режимной ситуации [9–11].

Материалы и методы

Целью настоящей работы является разработка эффективных алгоритмов функционирования адаптивной ЧДА, осуществляющей выделение генераторов (энергоблоков) ТЭС на сбалансированную нагрузку изолированного энергорайона с учётом текущей схемно-режимной ситуации. Для решения поставленной цели необходимо решить задачи структурного и параметрического синтеза алгоритмов противоаварийного управления [12–15]. Они заключаются в процессе создания составной алгоритмической модели адаптивной ЧДА, то есть в определении набора элементов, из которых состоит составная модель, способов их соединения и взаимодействия, а также в определении параметров электрического режима, используемых для разработки эффективных алгоритмов функционирования адаптивной ЧДА [16–18].

Для примера рассмотрим тепловую электрическую станцию со схемой распределительного устройства (РУ) 110 кВ, показанную на рис. 1.

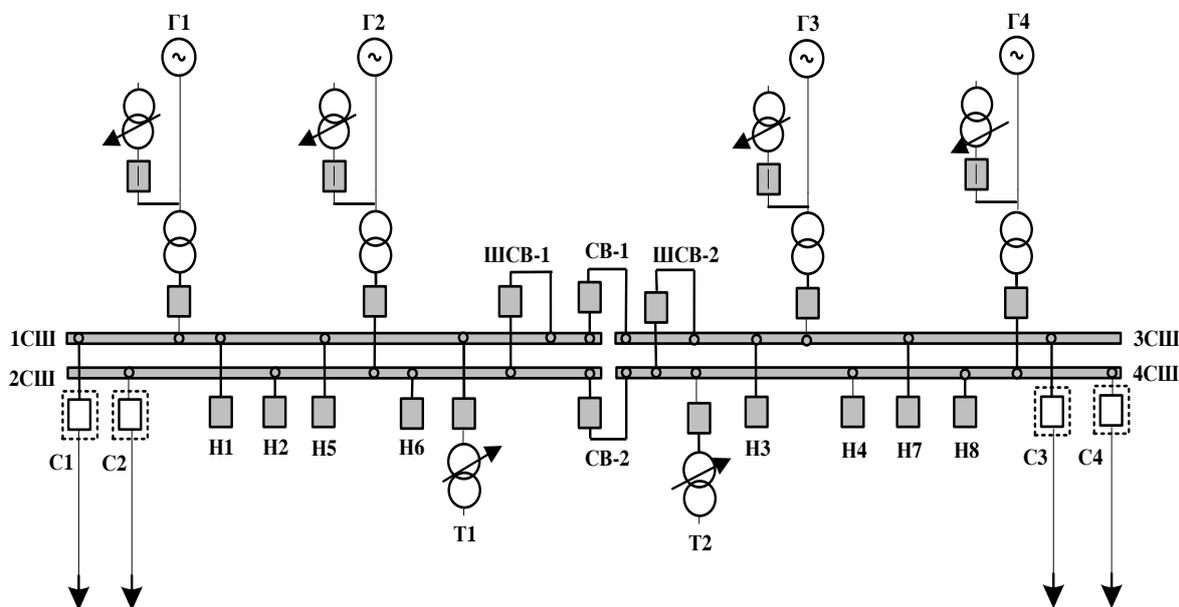


Рис. 1. Схема распределительного устройства 110 кВ тепловой электростанции

К схеме РУ 110 кВ тепловой электростанции подключены энергоблоки с генераторами Г1-Г4, внешние источники электроэнергии – системные линии С1-С4, потребители электрической энергии – тупиковые линии (нагрузка) Н1-Н8, трансформаторы собственных нужд электростанции Т1, Т2. Режим работы систем шин 1СШ, 2СШ, 3СШ, 4СШ – параллельный, так как включены шинно-соединительные и секционные выключатели ШСВ-1, ШСВ-2, СВ-1, СВ-2.

Для обеспечения эффективной работы адаптивной ЧДА должно выполняться следующее условие:

$$P_{\min} < P_n < P_{\text{уст}}, \quad (1)$$

где P_{\min} – минимальная величина регулировочного диапазона генерирующего оборудования, выделяемого на изолированную нагрузку, МВт; P_n – величина нагрузки выделяемого энергорайона после работы АЧР, МВт; $P_{\text{уст}}$ – установленная мощность генерирующего оборудования, выделяемого на изолированную нагрузку, МВт.

Также как и в традиционной, в адаптивной ЧДА целесообразно применять пусковые органы, фиксирующие в аварийном режиме отклонения параметров электрического режима – частоты и/или напряжения на шинах ТЭС.

При достижении уставок срабатывания по частоте и/или по напряжению

адаптивная ЧДА реализует управляющие воздействия на отключение системных ЛЭП для отделения станции на изолированную от единой энергетической системы работу. На рис. 1 показаны штриховой рамкой выключатели системных ЛЭП С1-С4, отключаемые действием ЧДА при срабатывании пусковых органов.

В общем случае при выделении генерирующего оборудования на изолированную работу баланс генерируемой и потребляемой активной мощности на шинах ТЭС может быть любым: от минимальной генерации во время максимальной нагрузки до максимума генерации при минимальной нагрузке [19]. Поэтому, после выделения ТЭС на изолированную работу, необходимо осуществить балансировку по активной мощности на шинах распределительного устройства ТЭС. Для этого необходимо рассчитать величину активной мощности на шинах распределительного устройства ТЭС в доаварийном режиме (в нормальном режиме в пределах допустимых отклонений частоты $50 \pm 0,2$ Гц):

$$\Sigma P = P_{C1} + P_{C2} + P_{C3} + P_{C4} - P_{AЧР}, \quad (2)$$

где $P_{C1}, P_{C2}, P_{C3}, P_{C4}$ – активные мощности системных линий; $P_{AЧР}$ – суммарная активная мощность потребителей электрической энергии, отключаемой действием АЧР на рассматриваемой ТЭС (для примера можно рассмотреть суммарную мощность тупиковых линий Н5-Н8).

Для расчёта величины активной мощности на шинах распределительного устройства ТЭС принимаем следующие полярности измеряемых активных мощностей ЛЭП: при перетоке активной мощности P от линии в сторону шин ТЭС – отрицательное значение P ; при перетоке активной мощности P от шин ТЭС в сторону линии – положительное значение P .

При дефиците активной мощности в доаварийном режиме ($\Sigma P < 0$) ЧДА реализует адаптивные управляющие воздействия путём отключения нагрузки на заданную величину небаланса согласно определённому приоритету и перечню отключаемых потребителей по следующему алгоритму:

$$\begin{aligned} \Sigma P < 0 & - \text{отключение 1 очереди нагрузки (1ОН);} \\ \Sigma P + P_{1ОН} < 0 & - \text{отключение 2 очереди нагрузки (2ОН);} \\ \Sigma P + P_{1ОН} + P_{2ОН} < 0 & - \text{отключение 3 очереди нагрузки (3ОН);} \\ \Sigma P + P_{1ОН} + P_{2ОН} + P_{3ОН} < 0 & - \text{отключение 4 очереди нагрузки (4ОН),} \end{aligned}$$

где $P_{1ОН}, P_{2ОН}, P_{3ОН}, P_{4ОН}$ – активная мощность нагрузки, соответствующая очереди отключения одной из тупиковых линий, не отключаемых действием АЧР на рассматриваемой ТЭС (для примера можно рассмотреть тупиковые линии Н1–Н4).

Если выделение генерирующего оборудования ТЭС происходит с незначительным избытком активной мощности ($\Sigma P > 0$, частота в послеаварийном режиме не более 51 Гц), баланс активной мощности может достигаться действием быстродействующих электрогидравлических систем регулирования (ЭГСР) турбин электростанции на разгрузку.

Однако при значительном избытке активной мощности ($\Sigma P \gg 0$) потребуется реализация адаптивных управляющих воздействий от ЧДА путём отключения генераторов. При этом реализация данных управляющих воздействий от ЧДА возможна одним из следующих способов:

1) отключение избыточной генерации от ЧДА в соответствии с фиксированным набором управляющих воздействий для всех возможных комбинаций состава работающего генерирующего оборудования электростанции;

2) реализация управляющих воздействий на заданную величину небаланса согласно определённому приоритету и перечню отключаемых генераторов по следующему алгоритму:

$$\begin{aligned} \Sigma P - P_{1ОГ} > 0 & - \text{отключение 1 очереди генераторов 1ОГ;} \\ \Sigma P - P_{1ОГ} - P_{2ОГ} > 0 & - \text{отключение 2 очереди генераторов 2ОГ;} \\ \Sigma P - P_{1ОГ} - P_{2ОГ} - P_{3ОГ} > 0 & - \text{отключение 3 очереди генераторов 3ОГ;} \\ \Sigma P - P_{1ОГ} - P_{2ОГ} - P_{3ОГ} - P_{4ОГ} > 0 & - \text{отключение 4 очереди генераторов 4ОГ;} \end{aligned}$$

где $P_{1ОГ}, P_{2ОГ}, P_{3ОГ}, P_{4ОГ}$ – активная мощность генераторов, соответствующая очереди отключения одного из энергоблоков ТЭС.

Таким образом, в соответствии с рассматриваемыми выше алгоритмами функционирования автоматики, структурную схему адаптивной ЧДА можно представить следующим образом (рис. 2). В качестве допущения предполагается, что выделение

генерирующего оборудования ТЭС происходит с дефицитом активной мощности или с незначительным избытком, при котором действие ЧДА на отключение энергоблоков ТЭС не производится.

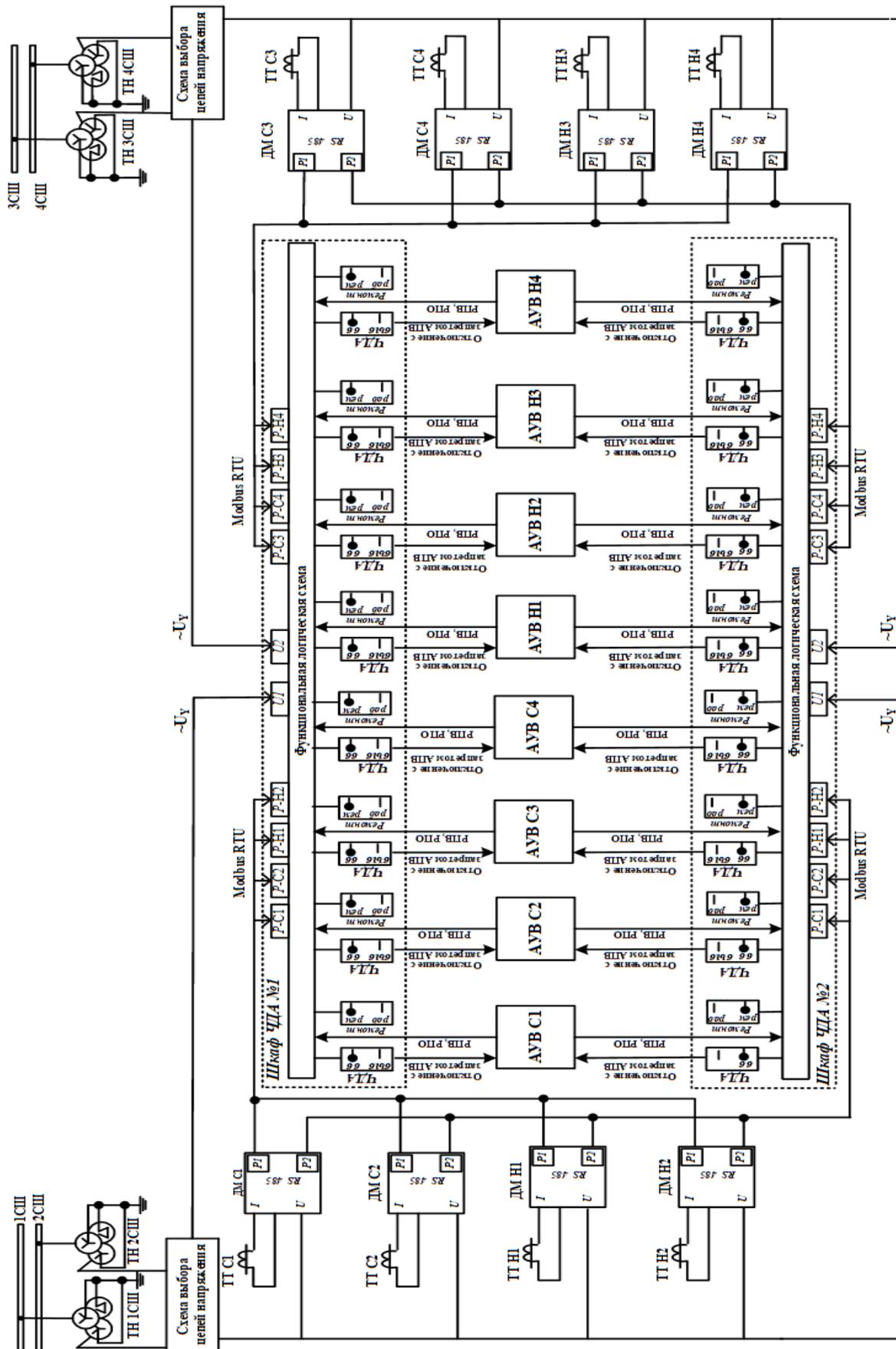


Рис. 2. Структурная схема адаптивной ЧДА тепловой электростанции

На структурной схеме адаптивной ЧДА показаны:

- измерительные трансформаторы напряжения ТН 1СШ, ТН 2СШ, ТН 3СШ, ТН 4СШ, подключённые к соответствующим системам шин: 1СШ, 2СШ, 3СШ, 4СШ электростанции;
- измерительные трансформаторы тока системных линий ТТ С1, ТТ С2, ТТ С3, ТТ С4 и тупиковых линий ТТ Н1, ТТ Н2, ТТ Н3, ТТ Н4;
- датчики мощности ДМ С1, ДМ С2, ДМ С3, ДМ С4, ДМ Н1, ДМ Н2, ДМ Н3, ДМ Н4, осуществляющие измерение режимных параметров перетоков активной мощности системных и тупиковых линий;
- шкафы автоматики управления выключателем (АУВ) системных и тупиковых линий АУВ С1, АУВ С2, АУВ С3, АУВ С4, АУВ Н1, АУВ Н2, АУВ Н3, АУВ Н4;
- шкафы противоаварийной автоматики ЧДА №1 и ЧДА №2.

Результаты

Составная алгоритмическая модель адаптивной ЧДА включает в себя:

1. Алгоритмы ввода и обработки входных аналоговых сигналов ЧДА.

Входными аналоговыми сигналами адаптивной ЧДА являются:

- сигналы от измерительных трансформаторов напряжения для измерения частоты и/или напряжения на шинах высокого напряжения ТЭС;
- сигналы от измерительных преобразователей (датчиков) активной мощности системных и тупиковых ЛЭП, отходящих от шин ТЭС для реализации управляющих воздействий от ЧДА при отрицательном балансе активной мощности на шинах распределительного устройства ТЭС в доаварийном режиме;
- сигналы от измерительных преобразователей (датчиков) активной мощности генераторов (энергоблоков), подключённых к шинам ТЭС для реализации управляющих воздействий от ЧДА при положительном балансе активной мощности на шинах распределительного устройства ТЭС в доаварийном режиме (при необходимости).

Для исключения излишних срабатываний ЧДА, обусловленных снижением частоты при выбеге электродвигателей, целесообразно выполнить блокировку ЧДА, основанную на контроле частоты в двух точках. Устройства ЧДА с блокировкой такого типа действуют только при одновременном срабатывании двух реле частоты, питающихся от разных трансформаторов напряжения, что характерно для общесистемного снижения частоты. Уставка по времени блокировки должна быть больше максимального времени выбега электродвигателей.

Режимные параметры перетоков активной мощности системных и тупиковых ЛЭП могут поступать на вход адаптивной ЧДА как непосредственно от датчиков мощности, установленных на электростанции, так и через устройства телеизмерения от внешних систем измерения.

Информация о текущем значении мощности каждого режимного параметра может поступать по двум независимым каналам (основному и резервному) для целей резервирования всего тракта измерения. Выбор «рабочего» канала должен осуществляться с учетом неисправности каналов. Неисправность каналов должна фиксироваться по любому из следующих условий:

- выход измерения за допустимый диапазон изменения;
- наличие дискретного сигнала о неисправности канала;
- наличие неисправности, зафиксированной средствами внутреннего контроля аппаратных средств устройства автоматики.

При отсутствии неисправностей по основному и резервному каналам или при неисправности резервного в качестве «рабочего» канала принимается основной канал.

При неисправности основного канала в качестве «рабочего» канала принимается резервный канал. При неисправности основного и резервного каналов расчетное значение режимного параметра принимается равным нулю с включением внешней сигнализации «Нет измерения». При отсутствии неисправностей по основному и резервному каналам и расхождении измерений по каналам на величину, большую допустимой, в качестве «рабочего» канала принимается основной канал с включением внешней сигнализации «Расхождение измерений».

Если информация о текущем значении мощности режимного параметра поступает только по одному (основному) каналу, то при его неисправности расчетное значение режимного параметра принимается равным нулю с включением внешней сигнализации «Нет измерения».

Ввод аналоговых сигналов для целей ЧДА должен выполняться циклически с

периодом не более 0,02 с – для сигналов от измерительных ТН, и не более 5 с – для сигналов от датчиков мощности.

2. Алгоритмы ввода и обработки входных дискретных сигналов ЧДА.

Для адаптивной ЧДА должна быть предусмотрена возможность ввода следующих типов дискретных сигналов:

- сигналы фиксации включённого и отключённого положения выключателей системных и тупиковых ЛЭП, отходящих от шин ТЭС (используются для блокировки измерения активной мощности при проведении регламентных и ремонтно-восстановительных работ; сигналы фиксации отключённого положения выключателей системных ЛЭП могут также использоваться как критерий успешного отделения ТЭС на изолированную от единой энергетической системы работу);

- сигналы фиксации включённого и отключённого положения выключателей генераторов (энергоблоков), подключённых к шинам ТЭС в случае реализации алгоритма отключения избыточной генерации от ЧДА в соответствии с фиксированным набором управляющих воздействий для всех возможных комбинаций состава работающего генерирующего оборудования электростанции или в зависимости от измеренной величины небаланса активной мощности согласно определённому приоритету и перечню отключаемых генераторов;

- сигналы фиксации неисправности устройств измерения режимных параметров, используемые для блокировки обработки соответствующих режимных параметров при неисправности или выводе из работы трансформаторов напряжения (ТН), датчиков или устройств телеизмерения (ТИ) с возможностью перехода на резервный канал измерения, если таковой предусмотрен. Источниками сигналов данного типа могут являться устройства телемеханики и оперативные переключатели и накладки;

- сигналы задания очередности отключения присоединений (нагрузки) и генераторов (энергоблоков). Сигналы поступают от оперативных переключателей в двоичной форме по два сигнала на присоединение, позволяя задать одну из четырех очередей отключения (0, 1, 2, 3), одна из которых может быть использована как блокировка отключения присоединения (как правило, 0).

- другие сигналы, позволяющие оперативному персоналу вносить изменения в алгоритм функционирования автоматики. Например, сигнал «Блокировка действия ЧДА» при определённых схемно-режимных условиях.

Источниками сигналов фиксации включённого и отключённого положения выключателей являются реле положения «включено» (РПВ) и реле положения «отключено» (РПО) автоматики управления выключателем (АУВ) соответствующего присоединения или специальные устройства фиксации отключения линий (ФОЛ), фиксации отключения блоков (ФОБ), а также оперативные переключатели и накладки, расположенные в шкафу ЧДА, фиксирующие длительное состояние элемента сети.

Ввод указанных типов дискретных сигналов для целей ЧДА должен выполняться циклически с периодом не более 5 с.

Для оценки исправности трактов ввода сигналов должны быть предусмотрены специальные средства программно-аппаратного контроля, позволяющие локализовать неисправность до элемента замены.

3. Алгоритмы формирования пусковых органов (ПО) адаптивной ЧДА.

Основой формирования ПО адаптивной ЧДА являются модули измерителя частоты и напряжения (ИЧН). Каждый модуль ИЧН осуществляет измерение частоты, напряжения, скорости изменения частоты и напряжения в одной контрольной точке и по запросу центрального процессора передает данные с использованием внутренней локальной сети. Периодичность опроса модулей ИЧН должна быть не более 0,02 с.

Условиями срабатывания ПО адаптивной ЧДА могут являться:

- 1) снижение частоты ниже заданной уставки (У1);
- 2) снижение напряжения ниже заданной уставки (У2);
- 3) скорость снижения частоты превышает заданную величину (У3);
- 4) скорость снижения напряжения превышает заданную величину (У4).

Применение условия У1 является основным при дефиците активной мощности в энергосистеме, при этом ЧДА, как правило, имеет две ступени с разными уставками по частоте и разными выдержками времени:

- 1 ступень (быстродействующая): 46,0–47,0 Гц / 0,3–0,5 с.
- 2 ступень (резервная): 47,0–47,5 Гц / 30–40 с.

Применение условия У2 целесообразно при высокой плотности нагрузки в рассматриваемом энергорайоне, например, в мегаполисах, где значительные снижения

напряжения более вероятны, чем снижение частоты. Это связано, прежде всего, с перегрузками ЛЭП и трансформаторного оборудования и их отключением устройствами АОПО, что приводит к невозможности выдачи мощности от генерирующих источников в энергосистему и значительному утяжелению процесса аварии [8].

Условия У3 и У4 являются дополнительными и могут использоваться в отдельных дефицитных энергорайонах, в которых при отделении от энергосистемы скорость снижения частоты и/или напряжения существенно выше, чем при общесистемном дефиците мощности.

При этом для исключения неправильной работы ЧДА должна предусматриваться возможность задания условия срабатывания ПО адаптивной ЧДА при одновременном выполнении условий в двух контролируемых точках схемы [20, 21].

4. Алгоритмы выделения ТЭС на сбалансированную нагрузку энергорайона или собственные нужды.

Алгоритм выделения генерирующего оборудования на нагрузку «своих» собственных нужд является наиболее простым и эффективным при наличии технической возможности по обеспечению баланса активной мощности с учётом выражения (1). Однако реализация данного алгоритма может быть невозможна в случае превышения минимальной величины регулировочного диапазона генерирующего оборудования, выделяемого на изолированную нагрузку, величины нагрузки собственных нужд.

В этом случае должен быть применён алгоритм выделения генерирующего оборудования ТЭС на изолированную нагрузку энергорайона с учетом схемно-режимных параметров и возможностью реализации управляющих воздействий на отключение нагрузки (при дефиците мощности) и отключение генераторов (при избытке мощности). Кроме того, алгоритм выделения ТЭС на сбалансированную нагрузку энергорайона является наиболее эффективным на ТЭС с поперечными связями по паре [22], так как оказывает наименьшее влияние на теплотехнические процессы после срабатывания ЧДА.

Основными требованиями при выборе отключаемых присоединений от адаптивной ЧДА, учитывающей схемно-режимные, являются:

- учёт текущего состояния присоединения (включён/отключён);
- учёт заданной очередности отключения, включая запрет отключения, задаваемой оперативными переключателями и накладками;
- минимизация избыточности балансирующего воздействия при отключении присоединений.

При авариях в энергосистемах, связанных с дефицитом активной мощности, с целью предотвращения повреждения оборудования, нарушения технологических процессов в электроустановках потребителей с непрерывным циклом работы [10], может быть также рассмотрен вопрос расширения границ выделяемого энергорайона. В этом случае при действии ЧДА часть системных линий, отходящих от РУ ТЭС, остаётся в работе, а выделяемое генерирующее оборудование ТЭС сохраняет электроснабжение потребителей, подключённых к шинам соседних узловых подстанций.

Однако, по нашему мнению, это может быть не всегда обоснованно по следующим причинам:

1) снижение надёжности ЧДА из-за увеличения количества применяемых технических устройств (датчики измерения активной мощности, устройства фиксации включенного и отключенного состояния оборудования, устройства телемеханики, устройства передачи аварийных сигналов и команд и т.д.);

2) невозможность выделения генерирующего оборудования ТЭС на нагрузку соседних узловых подстанций при первоочередном действии АЧР на отключение данной нагрузки;

3) значительное увеличение стоимости создания системы противоаварийного управления.

Выводы

1. Применение структурного и параметрического синтеза алгоритмов противоаварийного управления позволило создать составную алгоритмическую модель адаптивной ЧДА тепловой электростанции, состоящую из алгоритмов ввода и обработки входных аналоговых сигналов ЧДА, алгоритмов ввода и обработки входных дискретных сигналов ЧДА, алгоритмов формирования пусковых органов ЧДА, алгоритмов выделения ТЭС на сбалансированную нагрузку энергорайона или собственные нужды.

2. Предложенный алгоритм функционирования адаптивной ЧДА является универсальным и позволяет автоматически выделять генераторы (энергоблоки) ТЭС на сбалансированную нагрузку изолированного энергорайона, вне зависимости от вида

аварии и её причины, конфигурации электрической сети и величин выработки и потребления электроэнергии, а также текущей схемно-режимной ситуации.

3. Реализация предложенного алгоритма функционирования адаптивной ЧДА возможна с использованием микропроцессорной элементной базы устройств автоматики, которые, благодаря своему быстродействию, способны решать задачи сохранения электроснабжения наиболее ответственных потребителей при крупных системных авариях.

Литература

1. Абдушукуров Т.М. Разработка комплексного алгоритма частотной делительной автоматики // *Материалы 9 Международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи - 2018»*. 2018. С. 7–10.
2. Ахмедова О.О. Разработка алгоритма функционирования управляющей системы быстродействующей релейной защиты воздушной линии электропередачи // *Современные наукоемкие технологии*. 2018. № 3. С. 7–13.
3. Баракин К.А. Технические решения по реализации автоматики выделения на сбалансированный энергорайон ТЭЦ с поперечными связями по пару // *Электрические станции*. 2013. № 5. С. 30–39.
4. Гусева Е.В. Модернизация частотной делительной автоматики Симферопольской ТЭЦ // *Энергетические установки и технологии*. 2017. Т.3, № 1. С. 35–39.
5. Даминов А.И. Адаптивные алгоритмы работы частотной делительной автоматики // *Материалы докладов 12 Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике»*, 2017. С. 234–237.
6. Ефремова И.Ю. Адаптивная настройка пускового органа противоаварийной автоматики для транзитов с промежуточными отборами мощности // *Электричество*. 2017. № 2. С. 13–17.
7. Иванова В.Р. Разработка критериев оценки принимаемых решений в области проектирования, создания и эксплуатации активно-адаптивных электроэнергетических систем // *Материалы международной научной конференции «Высокие технологии и инновации в науке»*. СПб, 2018. С. 112–116.
8. Иванова В.Р. Разработка учебного стенда для эффективной и безопасной эксплуатации резервного электроснабжения на промышленных предприятиях // *Известия вузов. Проблемы энергетики*. 2018. № 9-10. С.165–169.
9. Иванова В.Р. Исследование функциональных возможностей систем релейной защиты и автоматики для применения их в интеллектуальных энергосистемах с активно-адаптивной сетью // *Материалы 4 Национальной научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве»*. 2018. Т.1. С. 138–140.
10. Иванова В.Р. Анализ основных элементов интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью // *Материалы 1 Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники»*. 2019. С. 12–17.
11. Иванова В.Р. Обзор современных устройств релейной защиты, автоматики и измерительных преобразователей, используемых при модернизации электротехнических комплексов и систем // *Материалы докладов 14 международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения»*. Казань: КГЭУ, 2019.
12. Илюшин П.В. Особенности реализации многопараметрической делительной автоматики в энергорайонах с объектами распределенной генерации // *Релейная защита и автоматизация*. 2018. № 6. С. 12–24.
13. Ионов А.А. Особенности выделения тепловых электрических станций с поперечными связями действием частотной делительной автоматики // *Материалы 8 Международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи - 2017»*. 2017. С. 108–111.
14. Карпов А.С. Автоматизированная система контроля эффективности действия частотной делительной автоматики // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*. 2011. № 4(135). С. 94–99.
15. Костин В.Н. Повышение эффективности действия частотной делительной автоматики системы электроснабжения мегаполиса // *Технические науки – от теории к практике*. 2012. № 10. С. 78–84.
16. Осак А.Б. Анализ режимной надежности при планировании развития энергосистем для обоснования затрат на реконструкцию РЗА // *Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации*. 2017. № 5. С. 49–59.

17. Патрахина А.Ю. Моделирование работы ТЭС в условиях аварийного отключения от энергосистемы // Сборник научных трудов «Научные проекты образовательных школ ПРДСО - 2016». 2016. С. 62–65.

18. Попов С.С. Модернизация противоаварийной автоматики для интеллектуального выделения электростанций на сбалансированную нагрузку // Материалы докладов 12 Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции. 2017. С. 269–273.

19. Русаков Е.А. Модернизация противоаварийной автоматики для интеллектуального выделения электростанций на сбалансированную нагрузку // Материалы 9 Международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи - 2018». 2018. С. 105–106.

20. Саргсян К.Б. Реализация автоматики переводов ПГУ энергоблока № 5 Разданской ТЭС в паросиловой и газотурбинный режимы // Теплоэнергетика. 2019. № 4. С. 39–44.

21. Федотов А.И. Критерии и алгоритмы автоматики выделения ТЭЦ на нагрузку энергорайона при системных авариях на базе современных микропроцессорных комплексов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2008. № 7-8. С. 71–78.

22. Фирстов П.Е. Анализ устройств автоматики ограничения снижения частоты в энергорайоне Тверской ТЭЦ-4 // Материалы 8 Международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи - 2017». 2017. С. 43–46.

Авторы публикации

Иванова Вилия Равильевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» (ЭЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Иванов Игорь Юрьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» (ЭЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Новокрепцов Виталий Викторович – аспирант, ассистент кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» (ЭЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

References

1. Abdushukurov TM. Development of a complex algorithm for frequency dividing automation . *Proceedings of the 9th International Scientific and Technical Conference "Power industry through the eyes of young people - 2018"*. 2018. pp. 7-10.

2. Akhmedova OO. Development of an algorithm for the operation of a control system for high-speed relay protection of an overhead transmission line. *Modern high technologies*. 201; 3:7-13.

3. Barakin KA. Technical solutions for the implementation of the automation of the allocation of a balanced power district CHP with a cross-connection a couple. *Electric stations*. 2013;5:30-39.

4. Guseva EV. Modernization of frequency dividing automatics of Simferopol TPP. *Power plants and technologies*. 2017;3(1):35-39.

5. Daminov AI. Adaptive algorithms of frequency dividing automation . *Proceedings of the reports of the 12th All-Russian Open Youth Scientific-Practical Conference "Dispatching and Control in the Electric Power Industry"*. 2017. pp. 234-237.

6. Efremova IYu. Adaptive setting of the emergency control automatic start-up body for transit with intermediate power selections. *Electricity*. 2017;2 :13-17.

7. Ivanova VR. Development of criteria for assessing decisions made in the design, creation and operation of active-adaptive electric power systems. *Proceedings of the international scientific conference "High Technologies and Innovations in Science"*. St. Petersburg. 2018. pp. 112-116.

8. Ivanova VR. Development of a training facility for the efficient and safe operation of backup power supply at industrial enterprises. *Proceedings of higher educational institutions. Energy problems*. 2018;9-10:165 -169.

9. Ivanova VR. Study of the functionality of relay protection and automation systems for their application in intelligent power systems with an active-adaptive network. *Proceedings of the 4th National Scientific and Practical Conference "Instrumentation and automated electric drive in the fuel and energy complex and housing and communal services"* 2018;1:138 - 140.

10. Ivanova VR. Analysis of the basic elements of an intelligent electric power system with an active-adaptive network. *Proceedings of the 1st All-Russian Scientific and Practical Conference "Problems and Prospects for the Development of the Electric Power Industry and Electrical Engineering"*, 2019. pp. 12 - 17.
11. Ivanova VR. Overview of modern devices of relay protection, automation and measuring transducers used in the modernization of electrical systems and systems. *Proceedings of the 14th International Youth Scientific Conference «Tinshurin Readings»*. Kazan: KGEU, 2019.
12. Ilyushin PV. Features of the implementation of multiparameter dividing automatics in energy districts with distributed generation facilities. *Relay Protection and Automation*. 2018; 6:12-24.
13. Ionov AA. Features of the allocation of thermal power plants with cross connections by the action of frequ. *Materials of the High School of the International Scientific-Technical Conference "Electric Power Industry through the Eyes of Youth - 2017"*. 2017. pp. 108-111.
14. Karpov AS. Automated system for monitoring the effectiveness of frequency dividing automation. *Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University*. 2011;4 (135):94-99.
15. Kostin VN. Improving the efficiency of the frequency dividing automation of the power supply system of a megacity. *Technical Sciences - from theory to practice number 10*. 2012. pp. 78-84.
16. Osak AB. Analysis of regime reliability in planning the development of energy systems to justify the costs of reconstruction of the relay protection and automation equipment. *Operational management in the power industry. Staff training and maintenance of its qualification*. 2017;5:49-59.
17. Patrakhin AYU. Modeling of TPP operation under emergency shutdown conditions from the power system. *Collection of scientific works "Scientific projects of educational schools PRDSO - 2016"*. 2016. pp. 62-65.
18. Popov SS. Modernization of emergency control automation for intelligent separation of power plants for balanced load. *Proceedings of the reports of the 12th All-Russian Open Youth Scientific-Practical Conference*. 2017. P. 269-273.
19. Rusakov EA. Modernization of emergency control automation for intelligent allocation of power plants to a balanced load. *Proceedings of the 9th International Scientific-Technical Conference "Electric Power Industry through the Eyes of Youth - 2018"*. 2018. pp. 105-106.
20. Sargsyan KB. Realization of automatic transmission of PGU power unit № 5 of the Razdan Thermal Power Plant to steam power and gas turbine modes. *Proceedings of higher educational institutions. Energy problems*. 2019;4:39-44.
21. Fedotov AI. Criteria and algorithms for automating the allocation of TPP to the load of a power district during systemic accidents based on modern microprocessor systems. *Proceedings of higher educational institutions. Energy problems*. 2008;7-8:71-78.
22. Firstov PE. Analysis of automatic devices for limiting the reduction of frequency in the energy district of Tverskaya CHPP-4. *Proceedings of the 8th International Scientific-Technical Conference «Electric Power Industry through the Eyes of Youth – 2017»*. 2017. pp. 43-46.

Authors of the publication

Viliya R. Ivanova – Kazan state power engineering university, Kazan, Russia.

Igor Yu. Ivanov – Kazan state power engineering university, Kazan, Russia.

Vitaly V. Novokreshchenov – Kazan state power engineering university, Kazan, Russia.

Поступила в редакцию

25 июня 2019 г.