

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ
ДЕЛИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ
С ГЕНЕРИРУЮЩИМИ ЭНЕРГОУСТАНОВКАМИ**

Канд. техн. наук, доц. КАЛЕНТИОНОВ Е. В., инж. ФИЛИПЧИК Ю. Д.

Белорусский национальный технический университет

При значительных и длительных понижениях частоты, а иногда и напряжения, обусловленных тяжелыми авариями в энергосистеме или в питающем предприятие энергорайоне, применяют делительную автоматику. К тяжелым системным авариям, прежде всего, относятся аварии с большими небалансами активной мощности, к локальным авариям – отключение основных питающих линий электропередачи. Делительная автоматика в таких режимах выделяет электростанцию или отдельные генерирующие источники на автономную работу с примерно сбалансированной нагрузкой и тем самым сохраняет электроснабжение наиболее ответственных потребителей и удерживает генерирующие установки на допустимых электрических и тепловых параметрах. Делительная автоматика действует на отключение всех связей генерирующих источников с сетями энергосистемы. Место деления должно выбираться из соображения воздействия на наименьшее число выключателей и удобство передачи команды на отключение. Отключение должно быть полным, учитывая все возможные ремонтные схемы.

После устранения последствий аварии в питающей сети, когда частота и напряжение восстанавливаются до нормальных значений, генерирующие установки подключаются к энергосистеме. При этом возможна как автоматическая, так и ручная синхронизация генераторов с энергосистемой.

В настоящее время детально разработаны технические принципы выполнения делительной автоматики (ДА) на электрических станциях электроэнергетических систем [1–3], но что касается промышленных предприятий, то лишь обозначены особенности ее выполнения на потребительских блок-станциях [4]. Однако цели и функциональное назначение ДА на электростанциях энергосистемы и в системе электроснабжения промышленных предприятий весьма различны. Целью ДА в энергосистеме является сохранение собственных нужд электростанций при возникновении аварийных режимов с большими дефицитами активной и реактивной мощностей. Цель ДА промышленных предприятий – предотвращение серьезного расстройства технологического процесса на предприятии путем сохранения электроснабжения наиболее ответственных потребителей и работоспособности собственных генерирующих источников при глубоких и длительных понижениях частоты и напряжения в системе электроснабжения. При этом ДА предприятия должна способствовать не развитию аварии, а наоборот, облегчению аварийной ситуации в энергосистеме. Кроме того, необходимо учитывать, что регулировочные возможности генерирующих источников энергосистемы и промышленных предприятий в аварийных

режимах весьма различны. Так, у гидравлических, паровых, газотурбинных установках энергосистемы большие сбросы или набросы мощности (в пределах номинальной) приводят только к кратковременному отклонению частоты. Газопоршневые генерирующие установки промышленных предприятий, как правило, допускают лишь небольшие (5–15 %) аварийные набросы или сбросы мощности. Если эти ограничения не выполняются, то это приводит к их отключению технологическими защитами от электрической сети.

Следует отметить, что у энергетиков как энергосистемы, так и предприятий нет достаточного понимания важности создания ДА в системе электроснабжения предприятий. Довольно часто высказывается мнение, что ДА на предприятии не должна интересоваться энергосистему, так как мощности их генерирующих источников невелики. Однако с этим утверждением нельзя согласиться, поскольку мощность собственных источников предприятий, например в Республике Беларусь, составляет не 1–2 МВт, а приближается к 1000 МВт. Второй аргумент энергетиков предприятий: зачем ДА, если наши генераторы и так отключаются от энергосистемы даже при небольших снижениях частоты и напряжения. Однако отключение генераторов предприятий чувствительными защитами или автоматикой в аварийных режимах энергосистемы будет способствовать развитию аварии из-за увеличения небалансов мощности. Поэтому создание ДА в системах электроснабжения предприятий с позиций энергосистем является целесообразным всегда, с позиций предприятий – если имеются ответственные потребители (котельные, непрерывные технологические процессы и т. д.).

При создании ДА в системе электроснабжения предприятия с генерирующими источниками необходимо ответить на ряд принципиальных вопросов:

1. При каких снижениях частоты и (или) напряжения, обусловленных аварийным режимом энергосистемы, требуется срабатывание ДА?
2. Какое замедление в срабатывании ДА может быть допущено по условиям функционирования энергосистемы и потребителей?
3. При каких авариях (системных, локальных) должна работать ДА?
4. Какие потребители предприятия являются наиболее ответственными?
5. Каким образом предотвратить значительные понижения или повышения частоты и напряжения после срабатывания ДА?
6. На какие коммутационные аппараты воздействовать, чтобы осуществить деление сети и перейти на автономную работу от энергосистемы?

В общем случае ДА в системе электроснабжения предприятия следует рассматривать как двухступенчатую (рис. 1). На первой ступени осуществляется предварительная подготовка схемы выделения путем определения отключения необходимых присоединений, трансформаторов или перевод наиболее ответственных потребителей на автономное электроснабжение. На второй ступени производится отключение всех оставшихся связей с энергосистемой. При этом уставки срабатывания ДА, например по частоте на первой ступени, как правило, на 0,2–0,4 Гц выше, чем на второй ступени.

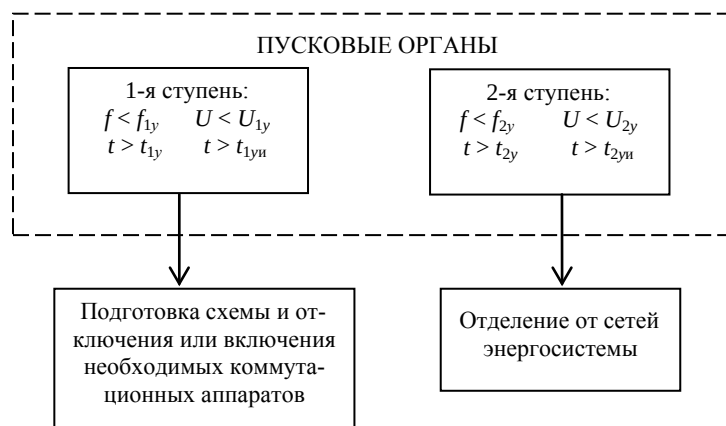


Рис. 1. Структурно-функциональная схема делительной автоматики

Алгоритмы действия ДА весьма различны и определяются стоящими перед ней задачами, схемой системы электроснабжения предприятия, схемами подключения генерирующих источников и режимами их работы и т. д. Однако во всем этом разнообразии можно выделить два основных типа:

1) алгоритм действия ДА, обеспечивающий минимально возможные небалансы мощностей при выделении генерирующих установок на автономную работу. В этом случае прослеживается стремление максимально сбалансировать величины генерации и нагрузки предприятия при действии ДА и тем самым уменьшить риск погашения потребителей и генерирующих источников;

2) алгоритм действия ДА, направленный на сохранение в работе только наиболее ответственных потребителей, путем перевода на них одного или нескольких генерирующих агрегатов, а удержание параметров оставшихся генерирующих источников в автономном режиме базируется на действии их регуляторов скорости и возбуждения, самоотключении части нагрузки.

Как показывает опыт проектирования ДА, реализация второго типа алгоритма проще и дешевле. Однако возрастает риск погашения значительной части потребителей предприятия.

Выбор параметров срабатывания пусковых органов ДА играет решающую роль в эффективности ее действия. С позиций энергосистемы наиболее представительным фактором, свидетельствующим о необходимости работы делительной автоматики, является снижение частоты. Значительное понижение частоты в энергосистеме является характерным признаком достаточно тяжелой аварии, которая не может быть быстро ликвидирована и при которой весьма важно сохранить в работе все электростанции, даже путем отделения их от энергосистемы со сбалансированной нагрузкой. При этом уставка 2-й ступени ДА по частоте должна быть установлена на 0,2 Гц ниже нижней границы действия АЧР1 [5]. Это снижает вероятность развития аварии из-за опережающего отделения генерирующих источников от энергосистемы. Однако если действия АЧР1 приводят к прекращению электроснабжения предприятия из-за отключения питающих их вводов подстанции или линий электропередачи, то уставки 1-й ступени ДА могут

быть, а в большинстве случаев и должны быть, на 0,2–0,4 Гц выше уставки АЧР1. Это связано с тем, что при таком действии АЧР1 на генерирующие установки предприятия, как правило, происходит дополнительный значительный наброс мощности, при котором частота так стремительно начинает снижаться, что срабатывание ДА в таких режимах не позволяет удерживать параметры энергоустановок в допустимых пределах и сохранить их в работе. В этих аварийных условиях уставка 2-й ступени ДА может быть на 0,2 Гц выше или равна уставке АЧР1.

Частота в системе электроснабжения предприятия может снижаться не только при системных авариях, но и местных, например при отключении элементов электрических сетей (трансформаторов, линий электропередачи), приводящих к прекращению внешнего электроснабжения питающей подстанции. В этом случае на генерирующие установки предприятий происходит, как правило, большой наброс мощности нагрузок, питающегося энергорайона от подстанции, приводящий к быстрому и глубокому снижению частоты. Подход к выбору уставок срабатывания ДА в таких аварийных режимах может быть аналогичен описанному выше. Однако, если возможный наброс мощности на генерирующие источники предприятий имеет довольно большой диапазон изменений и слабо предсказуем, то более представительным фактором срабатывания может быть скорость изменения частоты. Если скорость изменения частоты (df/dt) большая, что свидетельствует о большом дефиците мощности в энергорайоне, то для эффективной работы ДА время ее срабатывания должно быть небольшим. Если же скорость изменения частоты небольшая, то время срабатывания ДА можно увеличить. Для идентификации местной аварии от системной при пуске ДА можно использовать дополнительные факторы (отключения трансформаторов, линий электропередачи на питающей подстанции или изменения направления перетоков мощности на указанных элементах сети). Зона срабатывания ДА по скорости снижения частоты приведена на рис. 2а.

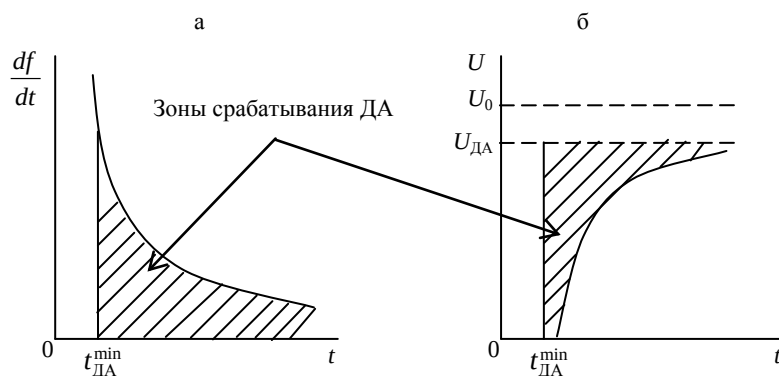


Рис. 2. Параметры срабатывания делительной автоматики

Потребители некоторых предприятий весьма чувствительны к глубоким и длительным снижениям напряжения, вызванных в большинстве случаев короткими замыканиями во внешней питающей сети. В таких режимах происходит торможение двигателей, и когда напряжение восстанавливает-

ся, то из-за большого увеличения скольжения, самозапуск двигателей становится невозможным. Своевременное выделение потребителей предприятия в таких аварийных ситуациях ДА на автономную работу позволяет сохранить работоспособность основных или даже всех потребителей. Все зависит от мощности собственных генерирующих источников. При этом очевидно, что предельно допустимые длительности КЗ зависят от глубины снижения напряжения: чем ниже напряжение КЗ, тем меньше допустимые длительности КЗ. Зона эффективного срабатывания ДА по уровню напряжения приведена на рис. 26 [6, 7]. Пуск ДА по значению снижения напряжения $U_{\text{ДА}}$ должен быть отстроен от изменений напряжений в нормальных и ремонтных режимах. Срабатывание ДА должно происходить при превышении минимально допустимых выдержек времени $t_{\text{ДА}}^{\text{min}}$, определяемых возможностью системы электроснабжения восстановить исходный или близкий к нему режим. Уменьшение значения $t_{\text{ДА}}$ ниже необходимого ведет к излишнему срабатыванию ДА.

Следует заметить, что в любом случае выбор параметров срабатывания ДА (частоты, скорости изменения частоты, напряжения, выдержек времени) необходимо осуществлять на основании расчетов переходных электро-механических процессов. Цель этих расчетов – определить предельно допустимые величины снижения частоты и (или) скорости ее изменения, длительности снижения напряжения, при которых генерирующие источники предприятия в аварийных режимах могут выйти на допустимые параметры работы и при этом обеспечивается надежное электроснабжение ответственных потребителей предприятия.

ВЫВОДЫ

1. Делительную автоматику в системе электроснабжения промышленного предприятия с генерирующими установками необходимо рассматривать как эффективное средство, препятствующее развитию аварии в энергосистеме и обеспечивающее питание наиболее ответственных потребителей в аварийных режимах со снижением частоты и напряжения.

2. Делительную автоматику для сложных систем электроснабжения необходимо проектировать как двухступенчатую. На первой ступени осуществляется предварительная подготовка схемы выделения или перевод наиболее ответственных потребителей на автономное электроснабжение. На второй ступени производится отключение всех оставшихся связей с энергосистемой.

3. Алгоритмы действия делительной автоматики позволяют обеспечить минимально возможные небалансы мощностей при выделении генерирующих установок на автономную работу или сохранение в работе только наиболее ответственных потребителей и части генерирующих источников. Первый путь – уменьшает риск погашения значительного количества потребителей и части генерирующих источников. Второй – проще в реализации и дешевле. Выбор алгоритма действия делительной автоматики целесообразно возложить на предприятие, которое сопоставляет затраты на реализацию делительной автоматики и ущерба от погашения потребителей.

4. Выбор основных параметров срабатывания делительной автоматики (частота, напряжение, скорость изменения частоты, выдержки времени) необходимо осуществлять на основе расчетов переходных процессов в системе электроснабжения предприятия при наиболее вероятных и нормативных аварийных возмущениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. К а л е н т и о н о к, Е. В. Устойчивость электроэнергетических систем: учеб. пособие / Е. В. Калентионов. – Минск: Техноперспектива, 2008. – 375 с.
2. Р а б и н о в и ч, Р. С. Автоматическая частотная разгрузка энергосистем / Р. С. Рабинович. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
3. К а л е н т и о н о к, Е. В. Автоматическое выделение агрегатов блочных электростанций в аварийных условиях / Е. В. Калентионов, В. И. Полягошко, В. А. Файбисович // Электрические станции. – 1984. – № 4. – С. 47–49.
4. Х а н и н, А. Г. О выполнении делительной автоматики по частоте на потребительских блок-станциях / А. Г. Ханин // Энергетик. – 1988. – № 2. – С. 23.
5. Р у к о в о д я щ и е указания по противоаварийной автоматике энергосистем. СТП 09110.20.569–07. – Минск: БелТЭИ, 2008. – 18 с.
6. И л ь ю ш и н, П. В. О свойствах энергоустановок с газопоршневыми двигателями / П. В. Ильюшин // Электрические станции. – 2009. – № 11. – С. 42–45.
7. Г у р е в и ч, Ю. Е. Особенности электроснабжения, ориентированного на бесперебойную работу промышленного потребителя / Ю. Е. Гуревич, К. В. Кабиков. – М.: ЭЛЕКС-КМ, 2005. – 408 с.

Представлена кафедрой
электрических сетей

Поступила 20.05.2010

УДК 621-501.14

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И СКОЛЬЗЯЩИХ ДВИЖЕНИЙ В КВАЗИРЕЛЕЙНЫХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМАХ

Докт. техн. наук, проф. МИХАЛЕВ А. С.

Республиканский институт высшей школы, БГУ

Скользящие движения, присущие в определенных условиях системам с переменной структурой (СПС), обладают рядом привлекательных свойств, и поэтому вопросам их организации, протекания и устойчивости первостепенное внимание уделено в основополагающих работах С. В. Емельянова и учеников его школы [1].

Из теории СПС известно, что для получения устойчивых скользящих движений в системе n -го порядка необходимо определять « $n - 1$ » производную от сигнала ошибки, что встречает известные трудности технической реализации.