

Предисловие

Монография посвящена одному из аспектов противоаварийного управления в электроэнергетических системах – противоаварийной автоматике, предназначенной для уменьшения ущерба энергосистеме и ее потребителям от больших аварийных возмущений и, особенно, для противодействия прекращению ее работы и территориальному распространению катастрофического аварийного процесса. В составе автоматики рассматриваются подсистемы, предупреждающие нарушение разных видов устойчивости энергосистемы: по углу, частоте и напряжению, а также термической устойчивости.

Техника такого управления развивается приблизительно с 1930-х годов, то ускоряясь, то замедляясь, и особенно стремительно последние 40 лет. Использование управляющих противоаварийных устройств в энергосистемах многих стран (Канада, США, Швеция, Япония и др.), как и в энергосистемах бывшего СССР показало их высокую эффективность. В последнее время эти устройства во многих энергосистемах стали неотъемлемой частью мероприятий, повышающих надежность электроснабжения и живучесть энергосистем.

Развитие данной отрасли противоаварийного управления привлекает к исследованию, разработке, проектированию и эксплуатации соответствующих устройств и систем автоматики все большее число специалистов. Особенно это заметно в странах с множеством больших плотно застроенных электрических сетей, подверженных тяжелым авариям в виде лавины напряжения.

Со временем возникла настоятельная потребность систематизировать имеющийся материал, выработать систему представлений, пусть не очень простую и не слишком совершенную, но достаточно общую. В связи с этим 70-х и 80-х годах прошлого столетия опубликовано несколько монографий, посвященных различным аспектам противоаварийного управления и, частности, противоаварийной автоматики. В них отражено то понимание проблем, которое было передовым для того времени, но большей частью не устарело и сегодня. Однако жизнь выдвинула новые проблемы и предложила новые возможности – ответом явились новые решения.

За это время во многих странах развились и расширились районы с высокой плотностью населения, появились и расширились громадные конгломераты непрерывной городской застройки, имеющие, естественно, плотные электрические сети. В такой сети хорошо известная и ранее опасность процесса, ведущего к лавине напряжения, из локальной превратилась в глобальную.

Создание во многих странах рыночного механизма купли-продажи электроэнергии вызвало дополнительные мало предсказуемые потоки мощности по сетям и связям между ними, что явно утяжелило условия работы и сетей и связей.

С другой стороны, объект управления – энергосистема изменяется и в благоприятную сторону. Наиболее наблюдаемо упорное расширение применения управляемых связей с продольными и поперечными элементами управления, основанными на разных физических явлениях, вплоть до накопителей энергии, использующих сверхпроводимость. Отсюда – новые управляющие воздействия автоматики.

Вместе с тем и возможности автоматики стали совсем иными. Главным революционизирующим моментом явилось появление вычислительной техники, теперь обретшей микропроцессорную основу, пределам развития которой не видно.

В 1972 году авторы начали разработку первого алгоритма противоаварийной автоматики, предназначенной для сохранения устойчивости параллельной работы. Он вычислял управляющие воздействия, требуемые для энергосистемы в случае возникновения любого из выявляемых автоматикой данного района аварийных возмущений, и выдавал их в виде команд исполнительным устройствам. Сейчас забавно вспомнить, что речь шла об управляющей машине с тройным резервированием, располагавшейся минимум в девяти шкафах. Она имела оперативную память 32 кбайт (это не опечатка – именно килобайт!), а ее рестарт выполнялся программой, хранившейся на бумажной перфорированной ленте. Кстати первое вычислительное устройство противоаварийной автоматики имело не на много лучшие характеристики; оно было введено в работу на Костромской тепловой станции (восемь генераторов по 300 МВт и один 1200 МВт) в 1984 году, проработало там около 20 лет, пока не рассыпалось физически, и за это время помогло предотвратить много аварий.

Алгоритм упомянутого выше назначения представлен в части V монографии в современном виде.

Сегодня возможности микропроцессорной техники позволяют применить такие алгоритмы управления, о которых раньше невозможно было и мечтать, например, прогнозирование в реальном времени исхода электродинамического переходного процесса в энергосистеме (часть VI монографии).

Вероятно, современная техника предоставляет большие возможности, чем разработчики противоаварийной автоматики готовы использовать.

Другая удивительная возможность обязана системе единого времени, созданной с помощью искусственных спутников земли. Хотя эта возможность не нашла полного применения, не приходится сомневаться, оно будет найдено.

В данной книге авторы попытались представить наиболее острые и принципиальные проблемы современной противоаварийной автоматики в их реальной взаимосвязи. Это, во-первых, принципы управления и структура построения системы; во-вторых, эффективность управления и, в-третьих, алгоритмы управления и методы расчета настройки устройств. В книге не затрагиваются точные методы расчета установившихся состояний и переходных электромеханических процессов в энергосистеме.

мах, методы изготовления, монтажа и эксплуатации устройств автоматики. Монография ориентирована на имеющийся и мыслимый на ближайшую перспективу уровень возможностей аппаратуры автоматики, но выполнена по мере возможности вне связи с определенными техническими средствами. Это вызвано, во-первых, лабильностью аппаратуры и, во-вторых, некоторым большим единообразием микропроцессорного выполнения по сравнению с более ранними поколениями аппаратуры.

Данная монография, конечно, не заменяет других литературных источников и по многим вопросам прямо адресует читателя к соответствующей специальной литературе. Цель данной книги не столько исчерпать все вопросы и все в этих вопросах, сколько найти общий к ним подход, определить их связь друг с другом, облегчить для читателя дальнейшее ознакомление и затем собственную творческую работу. Последнее особенно важно, так как многие актуальные задачи противоаварийного управления ждут своего решения.

В монографии основное внимание уделяется тем задачам, которые удается решить сегодня или которые могут быть решены в ближайшие годы. Меньшее место отведено еще проблематичному, пусть даже и интересному и в перспективе вполне реальному.

Рассматривать систему управления невозможно в отрыве от модели объекта управления. В качестве основных моделей энергосистемы в данной книге приняты схема питания нагрузки через предвключенное сопротивление, а также двух- и трехузловые схемы, в которых два или три генератора с нагрузками, работают параллельно через линии электропередачи. Используется прием эквивалентирования двухузловой схемы генератором, работающим через индуктивность на шины неизменной частоты, т. е. на генератор несоизмеримо большей мощности. Такой подход традиционен, а причина выбора именно этих моделей обычна, она – в наличии математического описания, позволяющего анализировать наиболее значимые особенности установившихся состояний и переходных процессов в энергосистеме, на которые опирается построение автоматики и от которых зависит ее эффективность. Не исключено, впрочем, что попутно оказались выявленными и некоторые довольно слабые зависимости, в то время как другие, даже не такие слабые, но более сложные, остались почти без внимания.

Сложность электромеханических процессов, происходящих в энергосистемах, давно превысила возможность их понять вполне адекватно. Как показывает обширный опыт авторов, чтобы разобраться хотя бы в основных чертах процесса, специалист опирается на известные ему модели, более простые, чем реальная энергосистема. Уровень специалиста во многом определяется уровнем этих моделей. В данной книге описаны те модели, на которые реально опирается построение противоаварийной автоматики. Конечно, существуют и более подробные, а значит, и более сложные модели, но использовать их для автоматики пока удается редко, а держать в голове вряд ли возможно. Кстати, отсюда вытекает трудность тестирования автоматики, основанной на моделях, не прозрачных для человека, и затем – проблема доверия к этой автоматике.

Монография предназначена для специалистов, занимающихся собственно автоматикой. Однако, как показывает опыт, не исключено желание познакомиться только с методами и принципами управления, не

вникая в подробности их реализации. С учетом этого наиболее общие принципиальные вопросы, насколько это было возможным, сосредоточены во введении, в части I и затем в начале каждой следующей части. К сожалению, вряд ли возможно обратное – читать все остальное, кроме этого.

Наряду с ранее опубликованными материалами, в монографии представлены новые результаты, полученные авторами за последние годы, а также разработки, выполненные специально для нее.

Современная вычислительная техника позволяет построить такую систему технических средств и программного обеспечения, которая может удовлетворить потребности определения управляющих воздействий на всех возможных иерархических уровнях противоаварийной автоматики: от объектного, причем самого простого – обслуживающего только свой объект, до самого сложного – уровня большого объединения энергосистем. И, наконец, нужно учитывать известную тенденцию сращивания противоаварийной автоматики с другими системами управления. Все это заставляет строить изложение, ориентируясь на некую обобщенную систему, охватывающую большинство возможных вариантов реализации. Конечно, на разных уровнях подлежат реализации разные части этой системы, однако вопросы, рассматриваемые в монографии, менее всего могут быть затронуты этим разнообразием.

Не исключено, что какая-то конкретность уже отживающих технических и программных средств неявно подразумевалась авторами и что по мере выяснения реальных возможностей потребуется выработать соответствующие коррективы.

Работа авторов над книгой, как и вообще работа в области противоаварийной автоматики, протекала при постоянном сотрудничестве со своими коллегами и со специалистами в близких областях техники, более всего в области релейной защиты энергосистем. Авторы пользуются случаем выразить им свою признательность за многостороннюю помощь и поддержку.

Любой прогресс создается конкретными людьми, и противоаварийная автоматика – не исключение. Многие особенности этой техники только кажутся само собой разумеющимися, на самом деле они – плод деятельности конкретных людей, действовавших в конкретных обстоятельствах. Нам кажется, что понимание трудов предшественников – не только условие признательности им, но и тот элемент культуры, без которого невозможны продуктивные технические решения. В надежде помочь читателю расширить собственный опыт опытом предшественников, авторы уделили место упоминанию ведущих специалистов, повлиявших на развитие автоматики, и описанию некоторых характерных ситуаций и аварий, которые авторы наблюдали лично.

В последние десятилетия происходит заметное развитие больших технических систем, и мы так или иначе участвуем в этом: мы с удовольствием потребляем сопутствующие блага, иногда заморожено наблюдаем ужасные аварии в этих системах или сами становимся несчастными жертвами этих аварий, многие профессионально участвуют в созда-

нии этих систем. Развитие техники несет человеку и блага и горе. К сожалению, одно без другого невозможно, но тут необходим какой-то баланс, который определяется уровнем культуры людей, уровнем гуманизма общества. Конкретнее говоря, требуется, чтобы общество хорошо понимало свои цели не только в области умножения благ, но и то, на какие жертвы оно готово идти для их достижения, какие жертвы недопустимы, какую цену оно готово платить за безопасность.

Авторы надеются на то, что их знания и опыт позволят хотя бы немного уменьшить опасность больших аварий в энергосистемах.

Наконец, авторы приносят свою благодарность своим почтенным учителям и руководителям, которым с завидной продуктивностью удалось сделать так много для своей профессии в тех сложных и, временами, очень тяжелых условиях их работы и жизни. Назовем самых близких нам: Алексей Михайлович Федосеев, Виктор Михайлович Ермоленко, Сергей Сергеевич Рокотян, Борис Сергеевич Успенский.

Авторы, 2008 г.

Список литературы

1. *Жданов П.С.* Вопросы устойчивости электрических систем. Под ред. Л.А. Жукова. М.: Энергия, 1979.
2. *Совалов С.А.* Режимы электропередач 400-500 кВ. М., Энергия, 1967.
3. *Маркович И.М.* Режимы энергетических систем. Энергия, 1969.
4. *Веников В.А.* Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М.: Высшая школа, 1970.
5. *Иофьев Б.И.* Автоматическое аварийное управление мощностью энергосистем. М.: Энергия, 1974.
6. *Портной М.Г., Рабинович Р.С.* Управление энергосистемами для обеспечения устойчивости. М.: Энергия, 1978.
7. *Иофьев Б.И.* Противоаварийная автоматика и сложные аварийные процессы в электроэнергетической системе. Электричество 1984, №3.
8. *Совалов С.А., Семенов В.А.* Противоаварийное управление в энергосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1988.
9. *Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А.* Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. М., Энергоатомиздат, 1990.
10. *Kundur P.C.* Power System Stability and Control. McGraw-Hill, 1994.
11. *Taylor C.W.* Power System Voltage Stability. McGraw-Hill, 1994.
12. *Брухис Г.Л., Иофьев Б.И., Тихонов Ю.А., Усачев Ю.В.* О руководящих указаниях по противоаварийной автоматике энергосистем. В кн.: Научно-практическая конференция «Актуальные проблемы релейной защиты, противоаварийной автоматики, устойчивости и моделирования энергосистем в условиях реструктуризации электроэнергетики», М.: НЦ «ЭНАС» 2002.