

Сравнительный анализ работы программ для расчета токов несимметричных коротких замыканий в энергосистемах

Открытое акционерное общество "Научно-исследовательский институт по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения" (ОАО "НИИПТ"), основанное в 1945 г., является многопрофильным электроэнергетическим научно-исследовательским центром, головной научной организацией отрасли в области развития системообразующей сети Единой энергетической системы (ЕЭС) России и межгосударственных электрических связей.

В 2007 г. ОАО "НИИПТ" стало дочерним зависимым обществом ОАО "СО ЕЭС". На базе ОАО "НИИПТ" создан научный центр Системного оператора для комплексного научного сопровождения задач управления режимами и развития ЕЭС России в современных экономических условиях. Основные направления производственной деятельности и тематика работ ОАО "НИИПТ" как научного центра Системного оператора направлены на решение актуальных задач в области управления и развития ЕЭС России.

Основные направления деятельности ОАО "НИИПТ":

- проектирование и развитие электроэнергетических систем;
- устойчивость, надежность и живучесть электроэнергетических систем;
- режимное и противоаварийное управление;
- автоматизированные системы мониторинга, сбора, передачи, обработки информации и управления технологическими процессами;
- управляемые электропередачи: вставки и электропередачи постоянного тока, технологии FACTS;
- технологии и оборудование электрических установок высокого напряжения;

- разработка, испытания и внедрение преобразовательных устройств;
- стратегия и технологии оперативного управления ЕЭС России.

В рамках этих направлений ОАО "НИИПТ" оказывает следующие услуги:

- предпроектная проработка и исследования для подготовки проектов;
- технико-экономическое обоснование строительства и модернизации электроэнергетических объектов;
- анализ работы энергосистем и отдельных объектов электроэнергетики;
- разработка и верификация цифровых моделей энергосистем и электроэнергетического оборудования;
- испытания электротехнического оборудования с последующей сертификацией;
- аттестация, проверка функционирования, испытания, наладка и настройка "под ключ" устройств управления, регулирования, автоматики и защит системного, станционного и агрегатного уровня с использованием цифро-аналого-физического комплекса;
- обучение в собственной аспирантуре.

Основная сфера деятельности ОАО "НИИПТ" — решение проблем, возникающих в процессе проектирования и эксплуатации систем электропитания постоянного и переменного тока: от общих принципов работы энергосистемы в целом до разработки, поставки "под ключ" и обслуживания отдельных систем и устройств и программного обеспечения.

проработку проектов, предпроектные исследования, внедрение, а также общее управление проектами.

Введение

Проектирование объектов электроэнергетики включает в себя несколько взаимосвязанных этапов. К их числу относятся расчеты нормальных и послеаварийных режимов работы электрических сетей, расчеты статической и динамической устойчивости, расчеты токов короткого замыкания (ТКЗ).

При решении задач релейной защиты, системной автоматики и устойчивости энергосистем возникает необходимость в расчетах квазиустановившихся несимметричных режимов при коротких замыканиях, неполнофазных включений и сложных видов несимметрии сети в одной или нескольких точках.

Современное развитие специализированных вычислительных программ позволяет несколько упростить решение этих задач. На рынке отечественного программного обеспечения представлен целый ряд соответствующих программ, позволяющих производить необходимые вычисления как в независимых модулях (EnergyCS Режим, EnergyCS ТКЗ, RastrWin), так и совместно в одной оболочке (АНАРЭС-2000, АРМ СРЗА).

Большая часть служб РЗА — филиалов ОАО "СО ЕЭС" — в своей работе использует однотипное программное обеспечение (в частности, программные комплексы ТКЗ-3000 и АРМ СРЗА). При этом результаты, полученные с помощью альтернативных программ расчета ТКЗ, таких как EnergyCS ТКЗ, нередко воспринимаются как недостоверные и подлежащие проверке. Следует отметить, что программа EnergyCS ТКЗ предназначена для выбора (проверки) коммутаци-

Таблица 1. Сравнительный анализ расчета ТКЗ в сети с высшим напряжением 110 кВ

№ узла КЗ	№ узла КЗ (факт.)					$\gamma_{\text{КЗ}}, \%$	$\gamma_{\text{КЗ1}}, \%$
		$I_{\text{КЗ}}, \text{кА}$	$I_{\text{КЗ1}}, \text{кА}$	$I_{\text{КЗ}}, \text{кА}$	$I_{\text{КЗ1}}, \text{кА}$		
1	67	6.135	5.926	6.135	5.926	0.00	0.00
2	74	2.616	3.558	2.616	3.558	0.00	0.00
3	93	25.716	30.463	25.716	30.463	0.00	0.00
4	123	18.839	22.554	18.839	22.554	0.00	0.00
5	222	4.794	4.941	4.794	4.941	0.00	0.00
6	327	11.265	10.731	11.265	10.731	0.00	0.00
7	472	17.202	17.202	17.202	17.202	0.00	0.00
8	492	10.059	9.687	10.059	9.687	0.00	0.00
9	525	13.377	9.998	13.377	9.998	0.00	0.00
10	591	9.401	10.836	9.401	10.836	0.00	0.00
11	602	8.390	8.492	8.39	8.492	0.00	0.00
12	775	37.073	38.424	37.073	38.424	0.00	0.00
13	782	46.085	44.351	46.085	44.351	0.00	0.00
14	901	25.804	26.782	25.804	26.782	0.00	0.00
15	981	14.055	12.296	14.055	12.295	0.00	0.01

онной аппаратуры на отключающую способность согласно действующим "Руководящим указаниям по расчету токов короткого замыкания" (РД 153-34.0-20.527-98). В свою очередь, комплексы ТКЗ-3000 и АРМ СРЗА также могут быть использованы для подобной цели, однако задание параметров доаварийного режима в этих программах выполняется вручную, что приводит к накоплению ошибок и трудоемким процессам их поиска и устранения.

Авторы статьи провели сравнительный анализ результатов расчета ТКЗ в схемах крупных энергосистем, полученных при помощи программ EnergyCS ТКЗ и АРМ СРЗА, с целью подтверждения возможности использования EnergyCS ТКЗ при проведении расчетов для выбора (проверки) коммутационного оборудования.

Описание исследуемых моделей

В качестве исследуемых моделей были взяты схемы двух энергосистем с наименьшим и наибольшим классом напряжения — 35 и 750 кВ соответственно: первая размерностью 863 узла и 1409 ветвей, вторая — 1375 узлов и 2024 ветви. При этом во второй схеме учтены взаимные индукции линий электропередачи, проходящих в одном коридоре, а также активные сопротивления и емкостные проводимости элементов энергосистемы.

Формат представления исходной информации в обеих рассматриваемых программах имеет схожий вид, однако есть некоторые отличия и особенности, которые были учтены при создании математических моделей:

- величина коэффициента трансформации для ветвей трансформаторного типа (в АРМ СРЗА это отношение напряжения узла начала ветви и на-

пряжения узла конца, в EnergyCS ТКЗ — наоборот, что, как видно по рис. 1 и 2, вносит погрешность в конечный результат);

- функция EnergyCS ТКЗ *Шунт 0-й последовательности* в АРМ СРЗА реализуется с помощью создания дополнительной ветви, соединяющей граничный узел схемы нулевой последовательности с точкой нулевого

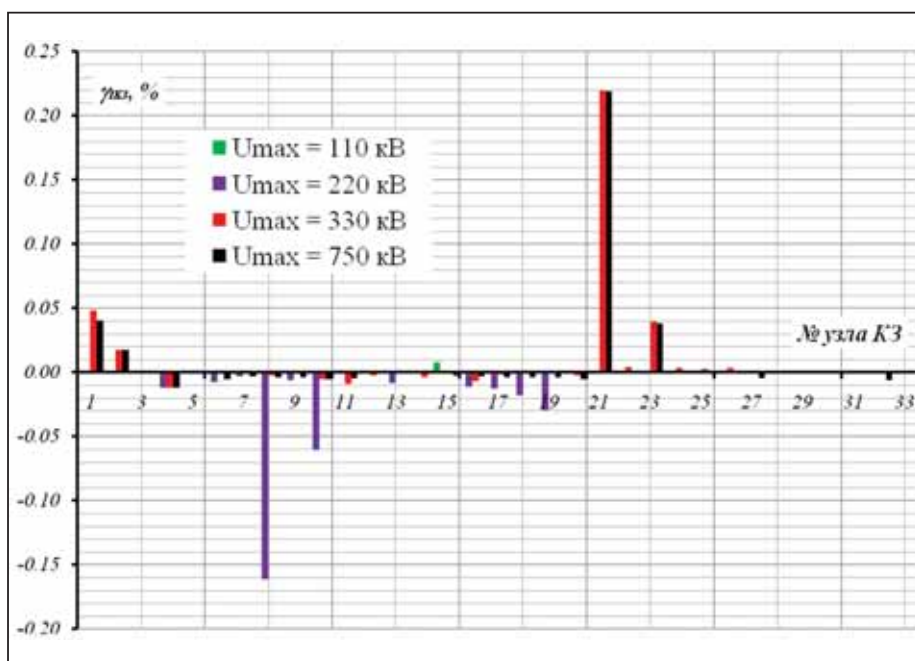


Рис. 1. Расхождение величины тока трехфазного КЗ, полученного в программах EnergyCS ТКЗ и АРМ СРЗА

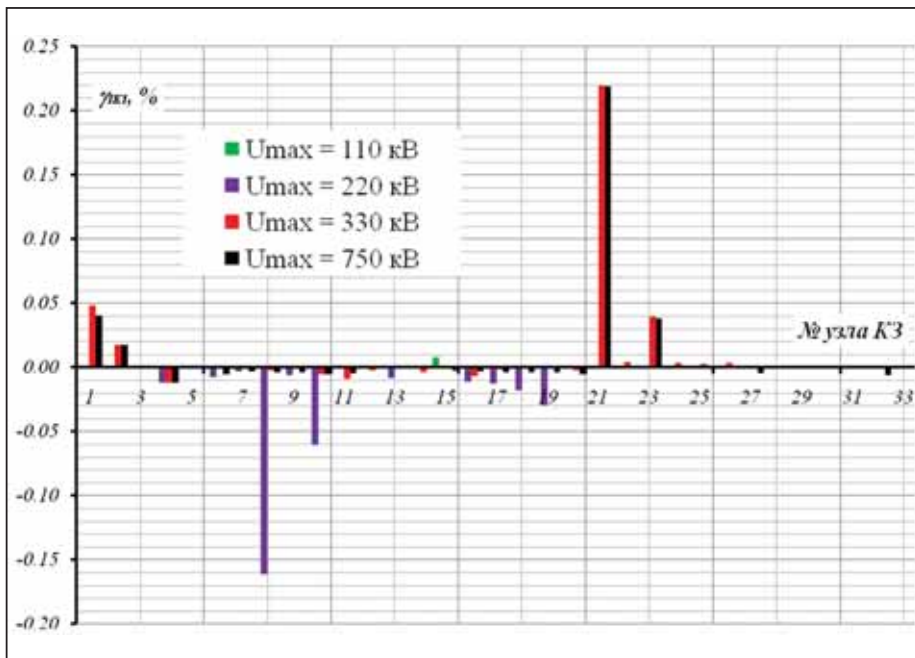


Рис. 2. Расхождение величины тока однофазного КЗ, полученного в программах EnergyCS ТКЗ и АРМ СРЗА

потенциала (далее идеальный шунт на землю);

- отсутствие в программе EnergyCS ТКЗ возможности учета емкостной проводимости нулевой последовательности.

Координации данных для учета второго пункта можно достигнуть либо с помощью алгоритма, отслеживающего идеальные шунты на землю, либо заменой нулевых активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности на малое активное сопротивление нулевой последовательности (например, 0,01 мОм), соизмеримое с контактным сопротивлением болтовых соединений. Причем, как будет показано дальше, это допущение при конвертации схемы не вносит заметной погрешности в результаты расчета.

Последняя особенность не оказывает влияния на расчет ТКЗ при несимметричных КЗ, так как в статье рассматриваются сети с глухозаземленной нейтралью.

Таблица 2. Сравнительный анализ расчета ТКЗ в схеме без учета взаимоиנדукций линий

№ узла КЗ	№ узла КЗ (факт.)	АРМ СРЗА		EnergyCS ТКЗ		$\gamma_{кз}, \%$	$\gamma_{к1}, \%$
		$I_{к3}, \text{кА}$	$I_{к1}, \text{кА}$	$I_{к3}, \text{кА}$	$I_{к1}, \text{кА}$		
1	100	17.565	21.075	17.579	21.091	-0.08	-0.08
2	103	20.559	25.838	20.574	25.856	-0.07	-0.07
3	123	15.497	18.147	15.509	18.161	-0.08	-0.08
4	130	12.726	12.448	12.737	12.459	-0.09	-0.09
5	211	4.956	5.785	4.959	5.789	-0.06	-0.07
6	243	5.109	5.022	5.113	5.026	-0.08	-0.08
7	308	7.848	8.320	7.856	8.328	-0.10	-0.10
8	346	10.998	12.816	11.007	12.827	-0.08	-0.09
9	354	7.985	9.086	7.995	9.097	-0.13	-0.12
10	374	7.220	6.941	7.227	6.948	-0.10	-0.10
11	386	7.022	7.793	7.028	7.799	-0.09	-0.08
12	431	8.304	7.901	8.315	7.912	-0.13	-0.14
13	441	14.172	13.145	14.191	13.164	-0.13	-0.14
14	500	8.855	8.434	8.867	8.445	-0.14	-0.13
15	503	17.702	20.282	17.730	20.313	-0.16	-0.15
16	588	6.397	5.181	6.404	5.187	-0.11	-0.12
17	609	4.968	6.033	4.973	6.040	-0.10	-0.12
18	632	2.443	2.958	2.445	2.962	-0.08	-0.14
19	1121	13.791	13.771	13.803	13.782	-0.09	-0.08
20	1433	17.862	19.966	17.888	19.995	-0.15	-0.15
21	1435	15.777	18.765	15.801	18.794	-0.15	-0.15
22	1609	4.968	6.033	4.973	6.040	-0.10	-0.12

Таблица 3. Сравнительный анализ расчета ТКЗ в схеме с учетом взаимоиндукций линий

№ узла КЗ	№ узла КЗ (факт.)					$\gamma_{\text{КЗ}}, \%$	$\gamma_{\text{КЛ}}, \%$
		$I_{\text{КЗ}}, \text{кА}$	$I_{\text{КЛ}}, \text{кА}$	$I_{\text{КЗ}}, \text{кА}$	$I_{\text{КЛ}}, \text{кА}$		
1	100	17.565	20.956	17.579	20.973	-0.08	-0.08
2	103	20.559	25.614	20.574	25.631	-0.07	-0.07
3	123	15.497	17.253	15.509	17.268	-0.08	-0.09
4	130	12.726	12.263	12.737	12.274	-0.09	-0.09
5	211	4.956	5.766	4.959	5.750	-0.06	0.28
6	243	5.109	5.005	5.113	5.009	-0.08	-0.08
7	308	7.848	8.166	7.856	8.164	-0.10	0.02
8	346	10.998	12.382	11.007	12.391	-0.08	-0.07
9	354	7.985	8.662	7.995	8.672	-0.13	-0.12
10	374	7.220	6.230	7.227	6.237	-0.10	-0.11
11	386	7.022	7.766	7.028	7.763	-0.09	0.04
12	431	8.304	7.817	8.315	7.827	-0.13	-0.13
13	441	14.172	13.254	14.191	13.272	-0.13	-0.14
14	500	8.855	8.418	8.867	8.429	-0.14	-0.13
15	503	17.702	20.240	17.730	20.270	-0.16	-0.15
16	588	6.397	5.015	6.404	5.021	-0.11	-0.12
17	609	4.968	5.830	4.973	5.847	-0.10	-0.29
18	632	2.443	2.914	2.445	2.956	-0.08	-1.44
19	1121	13.791	12.236	13.803	12.244	-0.09	-0.07
20	1433	17.862	19.536	17.888	19.564	-0.15	-0.14
21	1435	15.777	18.369	15.801	18.398	-0.15	-0.16
22	1609	4.968	5.830	4.973	5.847	-0.10	-0.29

Сравнительный анализ результатов расчета ТКЗ

Анализ результатов расчета ТКЗ в первой из рассматриваемых схем был построен следующим образом.

Первый этап расчетов был проведен в индуктивной схеме без учета взаимоиндукций линий с наибольшим номинальным напряжением узлов сети 110 кВ. Далее за счет ввода автотрансформаторных связей схема последовательно наращивалась ступенчато до класса напряжения 750 кВ. Точность расчета в обеих программах принималась как 1 А.

Результаты расчетов представлены в таблице 1 для схемы сети 110 кВ и на рис. 1 и 2 для схем с классами напряжений 110, 220, 330 и 750 кВ. Здесь $I_{\text{КЗ}}$ — величина тока трехфазного КЗ (в кА), $I_{\text{КЛ}}$ — величина тока однофазного КЗ (в кА), $\gamma_{\text{КЗ}} (\gamma_{\text{КЛ}})$ — величины относительной погрешности (в %). На рис. 1 и 2 показаны диаграммы, которые отражают изменение величины погрешности

результатов расчета в EnergyCS ТКЗ по сравнению с результатами АРМ СРЗА при увеличении числа автотрансформаторных связей в схеме (то есть при росте класса напряжения рассматриваемой сети).

Согласно табл. 1 и рис. 1, 2, величина максимальной относительной погрешности результатов расчета ТКЗ в программе EnergyCS ТКЗ по сравнению с результатами АРМ СРЗА не превышает 0,25 %.

Второй этап расчетов был проведен в схеме с учетом активных сопротивлений элементов рассматриваемой энергосистемы с учетом и без учета взаимоиндукций линий. При этом для ветвей трансформаторного типа в EnergyCS ТКЗ не была использована функция *Шунт 0-й последовательности*. Вместо этого была произведена замена идеальных шунтов на землю в АРМ СРЗА на аналогичные, но с малым активным сопротивлением нулевой последовательности, равным 0,01 мОм.

Следует подчеркнуть, что формат исходной информации о взаимной индукции линий в обеих рассматриваемых программах имеет практически схожий вид, что, в свою очередь, упрощает процесс конвертирования схем.

Результаты расчетов представлены в таблицах 2 и 3.

Общее число взаимоиндуктивных связей линий, проходящих в одном коридоре, учитываемое при получении результатов в табл. 3, равно 301. При этом максимальный ранг матрицы взаимной индукции, описывающей один из коридоров, равен 11. Следует отметить, что данные матрицы коридоров взаимной индукции описывают магнитосвязанные контуры линий как одного, так и разных классов напряжения.

Согласно табл. 2 и 3, величина максимальной относительной погрешности результатов расчета ТКЗ, полученных в программе EnergyCS ТКЗ, по сравнению с результатами, полученными в АРМ СРЗА, не превышает 1,45%.

Сравнение интерфейсов программ

Что касается интерфейсов сравниваемых программ, то здесь преимущество неоспоримо остается за EnergyCS TK3. Ее интерфейс прост и интуитивно понятен. Окно программы и ее основное меню напоминают стандартное окно

Windows, что позволяет даже неопытному пользователю быстро сориентироваться и начать работу. В первую очередь следует отметить преимущества EnergyCS TK3 перед APM CP3A при создании расчетной схемы.

Создание расчетной схемы электрической сети

Наличие в EnergyCS TK3 встроенной базы данных типового силового оборудования энергосистем позволяет затрачивать минимум времени на ввод расчетной схемы электрической сети. Для ввода ветви, например, достаточно выбрать необходимый элемент в базе: марка провода, тип трансформатора и т.п. Кроме того, базу данных можно самостоятельно дополнять и редактировать.

Как видно на рис. 3, при вводе узлов и ветвей в EnergyCS TK3 сразу отображается вся необходимая информация об элементе электрической сети: номер узла, класс напряжения, тип элемента. Перечень выводимых на чертеж параметров определяется пользователем и применяется для всей схемы сразу, что обеспечивает ее однородность. При этом исключается возможность вывода однотипных параметров, таких как "напряжения узлов" и "напряжения с углами", что позволяет не перегружать схему лишними данными.

В свою очередь, в APM CP3A вывод параметров расчетной схемы осуществляется вручную для каждого элемента. Для этого используются интерфейсы, показанные на рис. 4.

Эта особенность программы требует больших затрат времени. Кроме того, схема может оказаться частично непрописанной.

Существенно различается и графический вид расчетных схем в рассматриваемых программах. В APM CP3A электрическая сеть представлена принципиальной схемой, в то время как в EnergyCS TK3 используется однолинейная схема соединений электрических элементов. Это делает схему наглядной и удобной для чтения. Часто однажды созданная схема используется для разных расчетов, которые могут выполнять

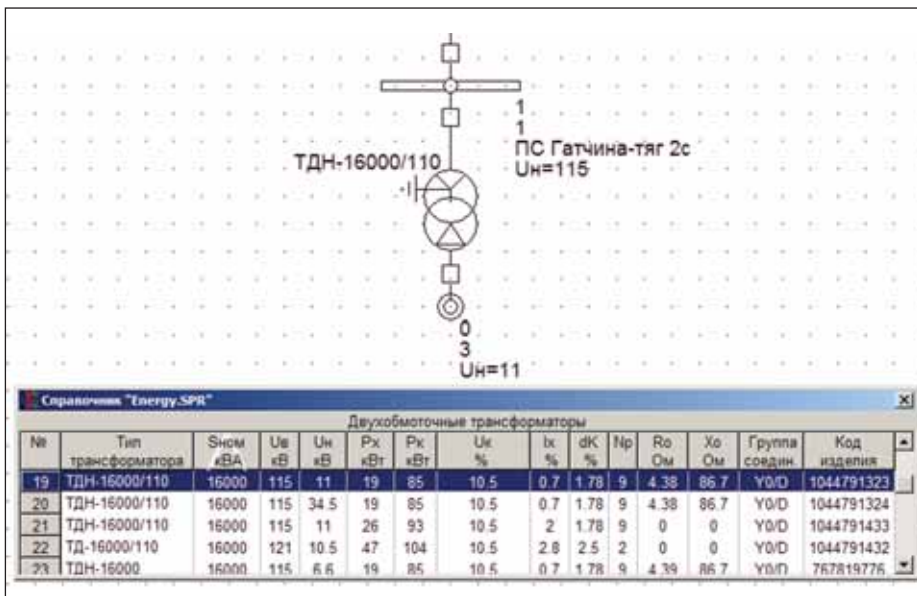


Рис. 3. Создание расчетной схемы электрической сети в EnergyCS TK3

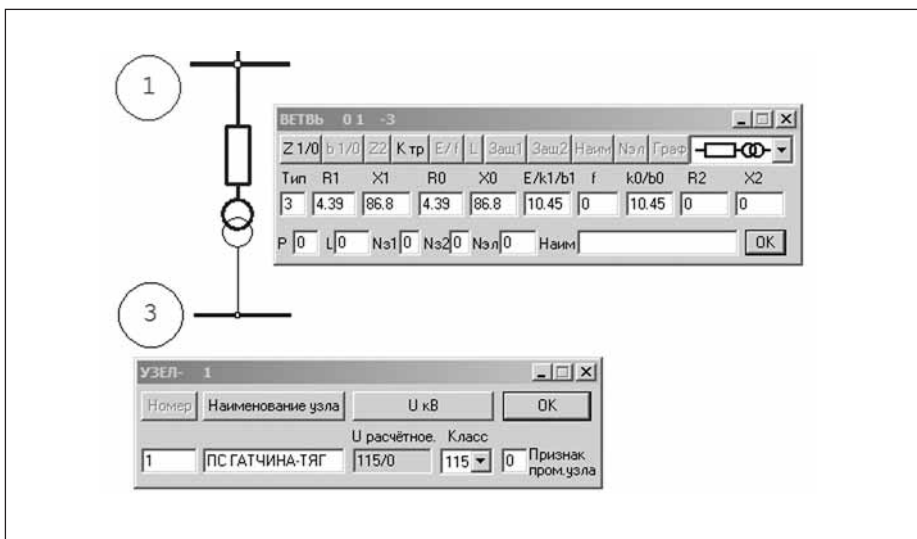


Рис. 4. Создание расчетной схемы электрической сети в APM CP3A

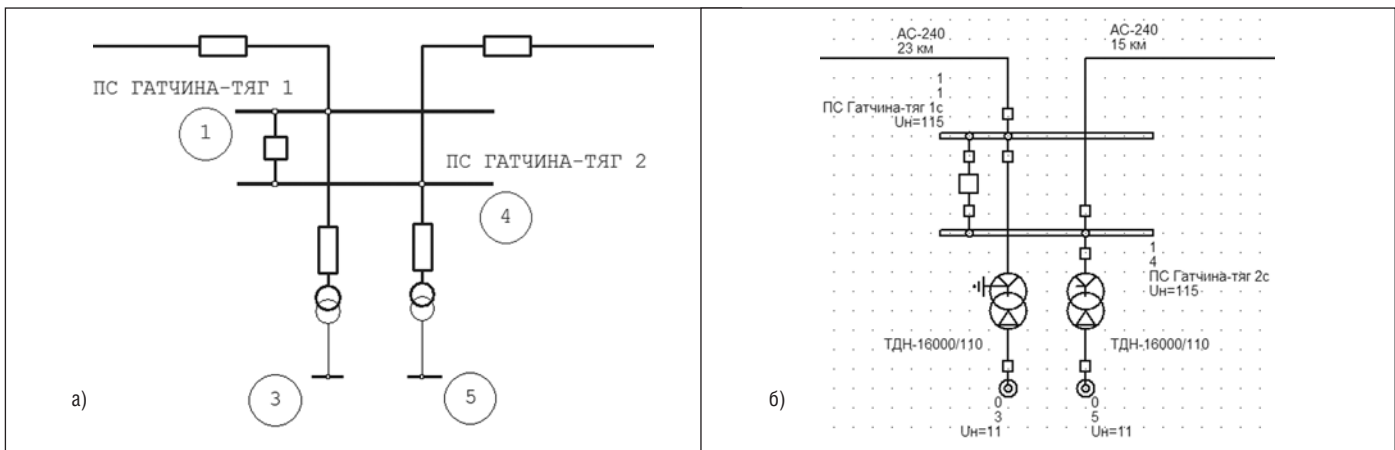


Рис. 5. Сопоставление графических изображений расчетной схемы в APM CP3A (а) и EnergyCS TK3 (б)

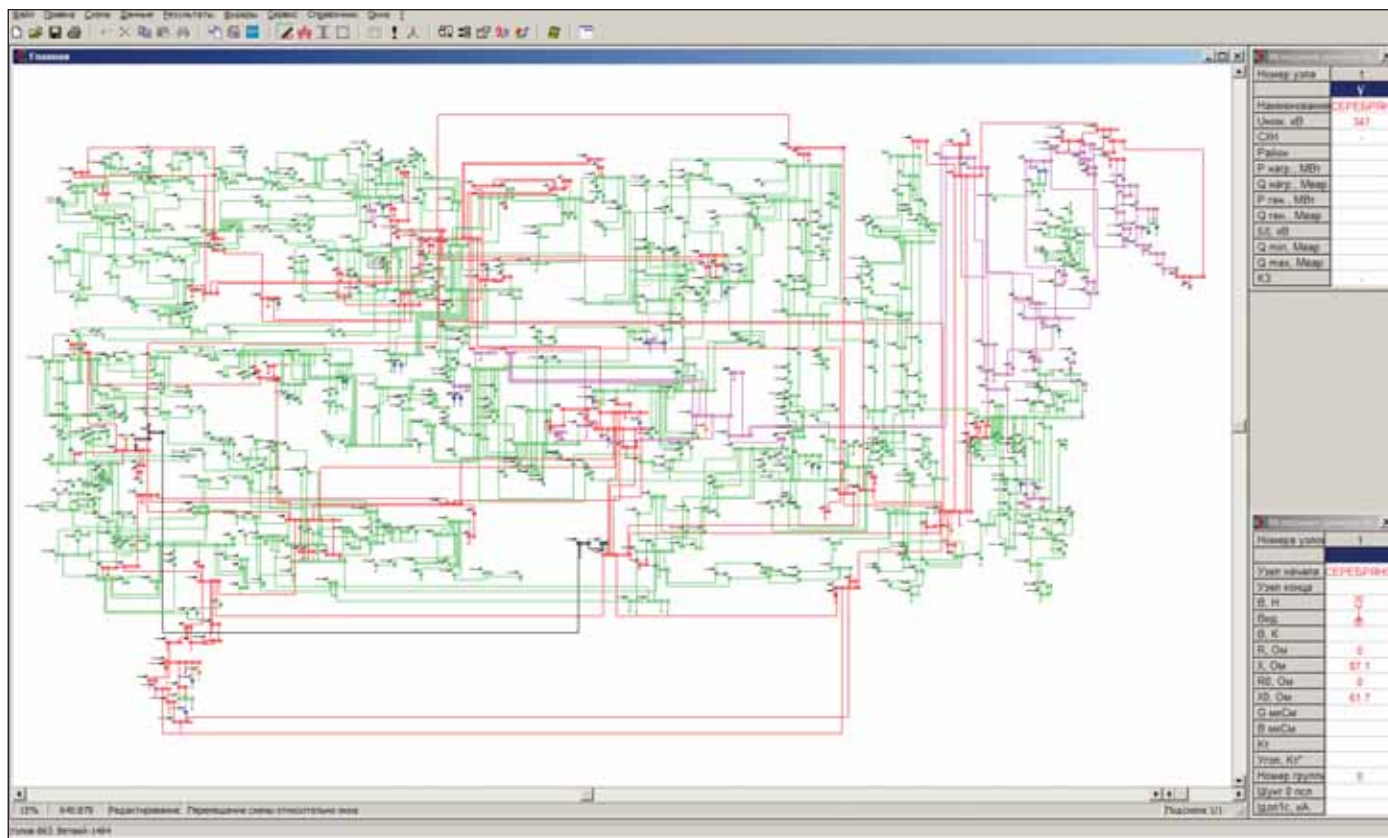


Рис. 6. Графическое представление расчетной схемы в EnergyCS TK3

специалисты различных направлений профессиональной деятельности. В случае работы со схемой, созданной в EnergyCS TK3, расчетчик может легко "привязать" ее к реальной энергосистеме, даже если схема была создана другим человеком.

Кроме того, представление электрической сети однолинейной схемой вместе со встроенной базой данных позволяет избежать ошибок при наборе схемы с "бумаги". Это наглядно видно на рис. 5, где показан один и тот же участок сети, созданный в разных программах.

Необходимо отметить такие важные функции EnergyCS TK3, как *Калька* и возможность импорта графического изображения абстрактной схемы, например, введенной в формате CDU, которые позволяют снизить время создания чертежа расчетной схемы (рис. 6). Так можно получить графику, например, из ПК RastrWin.

С помощью функции *Калька* программа позволяет вместо фона использовать любое растровое изображение. Это особенно удобно, если необходимо ввести распределительную сеть, "подложив" вместо фона однолинейную схему в формате AutoCAD или графического редактора.

Также в EnergyCS TK3, в отличие от АРМ СРЗА, существует такая важная для любого пользователя функция, как *Отмена*.

Расчет параметров доаварийного режима работы сети

Наряду с осуществлением контроля правильности ввода электрических параметров элементов сети при создании расчетной схемы, следует производить оценку параметров доаварийного режима работы исследуемой сети. А именно загрузки линий электропередачи, уровней напряжений в узлах, наконец, фактического существования нормального режима (что характерно для моделей сложных сетей). Ввиду этого представляет интерес сравнение особенностей проведения расчета доаварийного режима работы сети в рассматриваемых программах.

EnergyCS TK3, в отличие от АРМ СРЗА, позволяет производить эти расчеты на основе информации о характере и мощности нагрузок и генераций в узлах схемы. Таким образом, осуществляется дополнительная проверка правильности созданной расчетной модели.

В свою очередь, в АРМ СРЗА также возможен расчет доаварийного режима с выводом результатов. Однако для этого необходимо вручную произвести расчет величин доаварийных ЭДС синхронных машин, а также задать нагрузки в узлах в виде дополнительных ветвей-шунтов с сопротивлением прямой последовательности, произведя пересчет из МВт/МВАр в соответствующие классу напряжения актив-

ные и реактивные сопротивления, выраженные в омах. Данная операция трудоемкая и требует больших затрат времени.

Чаще всего в АРМ СРЗА доаварийный режим работы сети оценивается при работе схемы на холостом ходу. Как правило, ЭДС источников задаются равными 105% номинального напряжения соответствующей сети и предполагаются совмещенными по фазе. При этом величины сверхпереходных ЭДС корректируются в соответствии с рассчитанными программой значениями напряжений в узлах. Однако такой подход является методически неверным, так как рассчитанные АРМ СРЗА напряжения в данном случае получаются из матрицы узловых напряжений и, следовательно, не отражают параметров фактического доаварийного режима работы рассматриваемой сети.

В EnergyCS TK3 величина сверхпереходной ЭДС синхронных машин и асинхронных двигателей рассчитывается автоматически с учетом параметров доаварийного режима работы, что позволяет избежать ошибок при вводе величин ЭДС.

Следует отметить, что для расчета доаварийного режима программа EnergyCS TK3 использует одинаковый с ПК RastrWin формат исходных данных. Ввиду этого схема может быть с минимальными усилиями перенесена в

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

1-Полюс Узла	Наименование Узла	3х-фазное КЗ		Одно-фазное КЗ (А0)			
		I1 (мод/фаза)	I2 (мод/фаза)	I1 (мод/фаза)	I2 (мод/фаза)	I3 (мод/фаза)	I4 (мод/фаза)
U=378.5/0	Z1=1.283+j18.778	Z2=1.283+j18.778	Z0=1.457+j15.756				
19-		11610	941	4087	941	12262	941
7		933	911	322	921	2173	901
10		10678	941	3766	951	10096	951

1-Полюс Узла	Наименование Узла	Трёхфазное КЗ		Однофазное КЗ	
		на шинах	за выкл.	на шинах	за выкл.
U=378.5/0	Z1=1.283+j18.778	Z2=1.283+j18.778	Z0=1.457+j15.756		
19-		11.61	941	12.26	941
7		0.93	911	1.38	911
10		10.68	941	0.93	951

Рис. 7. Представление результатов расчета в АРМ СРЗА

EnergyCS ТКЗ (например, посредством формата CDU), дополнена и далее используется для расчета токов несимметричных коротких замыканий.

Получение и обработка результатов расчета

В АРМ СРЗА существует несколько вариантов выдачи результатов, но в любом случае это текстовый файл следующего вида (рис. 7).

Процесс обработки результатов (копирование в Microsoft Word и т.п.) весьма трудоемок. При большом количестве исследуемых узлов и присоединений избежать ошибок сложно.

В EnergyCS ТКЗ результаты могут быть представлены как в виде различных по содержанию таблиц, так и выведены на чертеж расчетной модели (рис. 8). При этом полученные таблицы могут быть переданы автоматически в Microsoft Word посредством заранее подготовленных шаблонов, а чертежи с ре-

зультатами перенесены напрямую в текстовые редакторы или отредактированы в AutoCAD.

Заключение

Проведенный авторами анализ показал, что при выполнении расчетов на одинаковых расчетных схемах результаты, полученные с помощью ПК EnergyCS ТКЗ, полностью соответствуют результатам, полученным в ПК АРМ СРЗА.

Следовательно, программный комплекс EnergyCS ТКЗ может быть использован службами РЗА филиалов ОАО "СО ЕЭС" и организациями, занимающимися проектированием электрической части станций и подстанций.

При этом следует отметить некоторые преимущества использования ПК EnergyCS ТКЗ по сравнению с ТКЗ-3000 и АРМ СРЗА для расчета, выбора и проверки коммутационного оборудования на отключающую способность:

- полный расчет величин сверхпереходных ЭДС по напряжениям и мощностям доаварийного установившегося режима согласно ГОСТ;
- возможность создания базы данных типового силового оборудования энергосистем;
- возможность визуализации результатов расчета ТКЗ на расчетной схеме;
- возможность расчета величин ударных токов КЗ.

К недостаткам EnergyCS ТКЗ следует отнести отсутствие возможности учета напряжений параметров емкостной проводимости нулевой последовательности, что важно при определении величины тока КЗ на землю в сетях с изолированной нейтралью. В программе по умолчанию емкостная проводимость нулевой последовательности линии равна проводимости прямой последовательности, что верно лишь для группы однофазных кабелей. Данное обстоятельство может привести к неточности в конечном результате.

Сравнение интерфейсов программ АРМ СРЗА и EnergyCS ТКЗ однозначно говорит в пользу последнего. Процесс создания схемы в EnergyCS ТКЗ за счет наличия дополнительных функций (Калька, импорт графического изображения абстрактной схемы и встроенная база данных) занимает гораздо меньше времени. Результаты расчета, полученные в программе EnergyCS ТКЗ, наглядны и легко могут быть перенесены в другие программы.

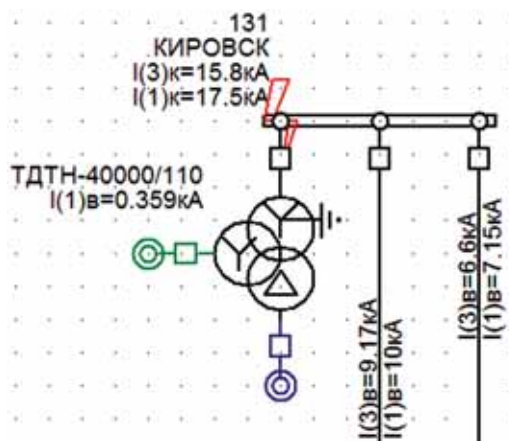
Авторы статьи провели сравнительный анализ работы программ с точки зрения использования АРМ СРЗА для расчета и проверки аппаратов по отключающей способности. Другие функции программного комплекса АРМ СРЗА не рассматривались.

Андрей Брилинский,
Анна Севастьянова

инженеры НИО-6 ОПРЭ ОАО "НИИПТ"

Тел.: (812) 292-9499

E-mail: andrey.ru@rambler.ru
sevastyanova_a@niipt.com



Токи по ветвям, присоединенным к узлам КЗ (краткая)							
Номер КЗ	Обозначение узла-ветви	Номера узлов	Uном кВ	IкЗ кА	Iк1 кА	Iк1max кА	Iк1_0 кА
КЗ	КИРОВСК	610	110	15.5	16.9	16.9	16.5
	КИРОВСК - 8979фт	610-8979		0 15.5	0.377	16.5	1.13
	ГРЭС - КИРОВСК	111-610		5.85 9.61	6.23	10.7	5.89
	ПТ - КИРОВСК	132-610		9.61 9.61	10.3	10.3	9.89

Рис. 8. Представление результатов расчета в EnergyCS ТКЗ