

Расчетная методика определения структуры и параметров РЗА в системах электроснабжения ответственных потребителей



В данной статье вы найдете ответы на следующие вопросы:

- Каким образом можно определить экономически выгодную структуру и параметры релейной защиты и автоматики для системы электроснабжения?
- Что положено в основу данной методики?

Авторы

Арцишевский Я.Л.,
Задкова Е.А.,
Кузнецов Ю.П.

Данная статья является продолжением темы, поднятой в журнале «Релейщик» (№ 1 (2), 2009 г., комментарии участников «круглого стола» по проблемам реализации стандарта МЭК 61850, стр. 14–15) о роли экономических обоснований технических решений по релейной защите и автоматике (РЗА). Многие собственники генерирующих и энергопотребляющих компаний стоят перед мучительным вопросом – на чем сэконо-

мить деньги и одновременно не допустить потерь из-за аварийных остановов?

Вот наш вариант ответа на подобный вопрос. Как известно, устойчивость функционирования ответственных потребителей электроэнергии может нарушаться вследствие провалов питающего напряжения [1].

Интересующие нас значения параметров потока провалов напряжения зависят от:

- параметров потока коротких замыканий (КЗ) и оперативных переключений в системе электроснабжения;
- электромагнитных и электромеханических параметров системы электроснабжения совместно с подключенной нагрузкой и учетом параметров систем возбуждения и АРВ синхронных двигателей;
- структуры и параметров системы РЗА.

Перечисленные исходные данные позволяют определить форму кривой питающего напряжения в заданном узле системы электроснабжения для каждой расчетной комбинации исходного режима, точки и вида КЗ, действия РЗ, АПВ, АВР и т.д. По найденной форме кривой определяется длительность и глубина провала питающего напряжения.

Следует отметить, что при рассмотрении одного и того же события с некоторой длительностью ликвидации КЗ в различных узлах системы электроснабжения, например на шинах различных главных понизительных подстанций (ГПП) и подстанций (ТП) сети 6 (10) кВ внутреннего электроснабжения, а также на шинах и в трансформаторах 110 (220) кВ сети внешнего электроснабжения, глубина и длительность провала будут различными из-за особенностей схемы связи узла с источниками, а также выбега и самозапуска двигательной нагрузки.

Эти различия обусловлены связанностью сети внешнего электроснабжения, свойствами двигательной нагрузки, включая ответственных потребителей, структурой и параметрами системы внутреннего электроснабжения, а также структурой и параметрами системы РЗА внешней и внутренней частей системы электроснабжения.

Поэтому из всего многообразия ГПП и ТП системы электроснабжения необходимо выбрать для расчета небольшое количество типовых и наиболее ответственных узлов систем электроснабжения. В отдельных случаях достаточно рассмотреть один типовой узел.

Именно для них следует найти прогнозируемые значения параметров потока провалов. Методика определения искомых характеристик известна [3, 4, 5, 6] и базируется на переборе по схеме сети расчетных точек КЗ различных

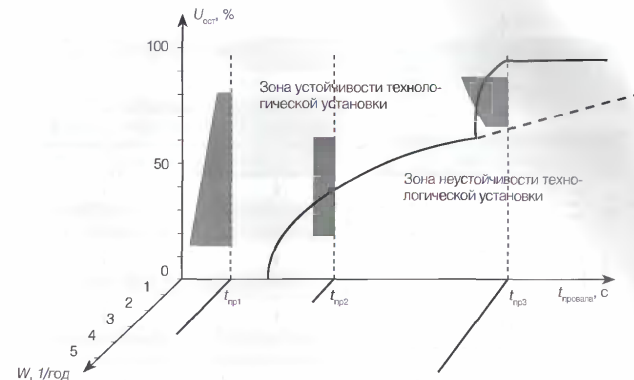


Рис. 1. Пример совмещения прогноза параметров потока провалов и границы зоны устойчивости технологической установки

видов. Список учитываемых точек КЗ должен включать:

- всю последовательную цепочку элементов системы электроснабжения от питающей подстанции внешнего электроснабжения до расчетного узла с учетом их повреждаемости (это «ствол» системы электроснабжения). После действия РЗ и отключения выключателей на «стволе» провал продолжается до действия АПВ или АВР;
- все параллельные элементы системы электроснабжения с учетом их количества и повреждаемости (это «ветви» системы электроснабжения). После действия РЗ и отключения выключателей на «ветвях» начинается самозапуск потребителей и провал напряжения заканчивается.

Полученные в результате расчетов данные по длительности и глубине провалов сортируются по длительности и изображаются графически в пространстве параметров потока провалов с координатами реально выявленных сочетаний:

- длительности провала ($t_{пр}$, сек);
- остаточного напряжения ($U_{ост}$, %);
- среднего количества в год (W , 1/год).

Эти данные являются характеристической системы электроснабжения и ее системы РЗА.

Свойства нагрузки должны быть представлены в форме границ зон устойчи-

вости нагрузки в координатах ($U_{ост}$ и $t_{провал}$). Методика определения границ зон устойчивости нагрузки известна [5, 6] и базируется на обобщении результатов математического моделирования и результатов мониторинга устойчивости нагрузки при провалах. Прогноз устойчивости нагрузки может быть определен графически при совмещении перечисленных характеристик. Пример такого совмещения приведен на рис. 1 применительно к технологической установке.

Использованная граница соответствует требованию сохранения устойчивости технологической установки после провала в питающем напряжении с успешной автоматической ресинхронизацией синхронных двигателей. При этом конфигурация и режим ответственного оборудования технологической установки восстанавливаются без участия оперативного персонала, однако часть вспомогательного оборудования, допускающего перерыв электроснабжения без нарушения технологического процесса, может быть включена в работу по командам операторов технологической установки.

При определении прогнозируемых значений длительностей и годового количества провалов W осуществляется перебор и сортировка возможных событий и явлений в системе электро-

Арцишевский Я.Л., чл.-корр. АЭН РФ, к.т.н., доцент МЭИ (ТУ)
Задкова Е.А., к.т.н., ст. препод. Сызранского филиала Самарского ГТУ
Кузнецов Ю.П., лауреат Государственной премии РФ, к.т.н., доцент МЭИ (ТУ)

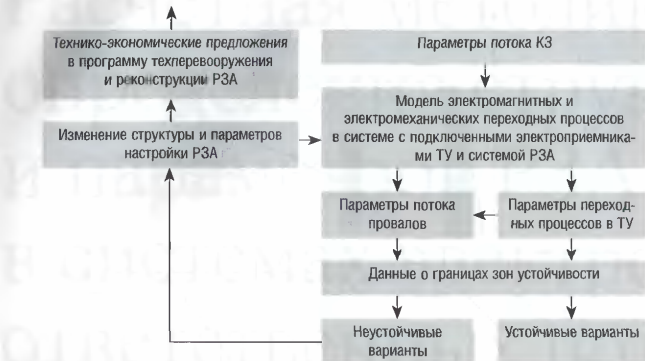


Рис. 2. Алгоритм технико-экономического обоснования предложений в программу техпереворужения и реконструкции

снабжения с оценкой их прогнозируемого годового количества, в частности: КЗ на соседних фидерах («ветвях»), КЗ на питающей системе шин внешнего электроснабжения («ствол»), КЗ на шинах своего ТП («ствол»), КЗ на своей питающей линии («ствол»), ошибочное отключение своей питающей линии («ствол»), КЗ на шинах питающей секции ГПП («ствол»), КЗ в зоне дифференциальной защиты понижающего

трансформатора («ствол»), КЗ на питающей линии внешнего электроснабжения («ствол»), КЗ на питающей системе шин внешнего электроснабжения («ствол»), КЗ на других линиях, присоединенных к питающей секции шин подстанции внешнего электроснабжения («ветвь»), затухающие качания в энергосистеме, системная авария в энергосистеме и т.д.

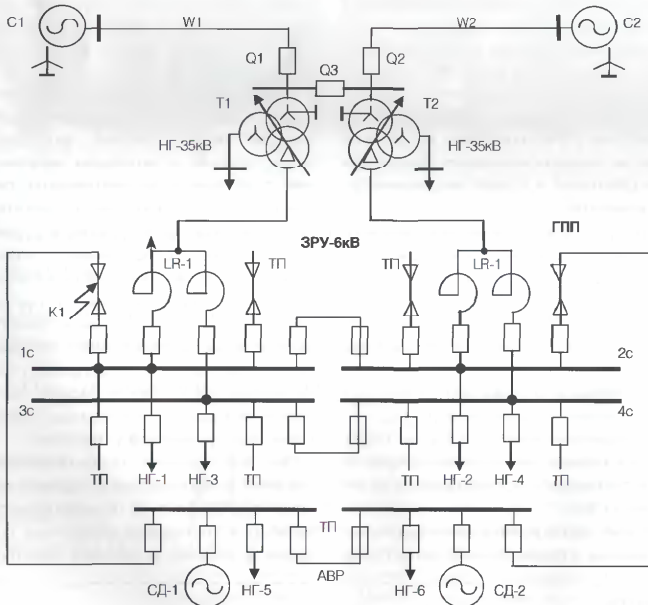


Рис. 3. Схема моделируемой системы электроснабжения

При определении значений остаточных напряжений и границ зоны устойчивости технологической установки используются результаты программного моделирования электромагнитных и электромеханических переходных процессов выбега и запуска различных групп двигателей при КЗ и переключениях по командам системы РЗА во внутренней и внешней частях системы электроснабжения. Структура и параметры математической модели должны учитывать реальные электромагнитные и электромеханические параметры переходных процессов в системе электроснабжения и логику системы РЗА [5, 6].

Пример данных на рис. 1 характеризуется наличием трех составляющих потока провалов с длительностью $t_{пр1}$, $t_{пр2}$ и $t_{пр3}$. Первая составляющая потока с $t_{пр1}$ имеет сочетание значений параметров ($t_{пр1}$, $U_{ост1}$), расположенное в зоне устойчивости ТУ, поэтому соответствующая первая группа событий и явлений в системе электроснабжения не вызывает рисков нарушения устойчивости технологической установки при сохранении существующей структуры и параметров РЗА и системы в целом.

Вторая составляющая потока провалов с $t_{пр2}$ имеет сочетание значений параметров, расположенное по обе стороны границы зоны устойчивости. Поэтому вторая группа событий и явлений в системе может вызвать нарушение устойчивости и соответствующие технические, экономические, экологические ущербы и возможные риски нарушения требований регламентов по безопасности, следовательно, целесообразно планировать и реализовывать мероприятия по техпереворужению и реконструкции.

Третья составляющая потока провалов с $t_{пр3}$ на рис. 1 имеет сочетание значений параметров ($t_{пр3}$, $U_{ост3}$), полностью расположенное в зоне неустойчивости технологической установки. Поэтому соответствующая третья группа событий и явлений в системе вызывает нарушение устойчивости технологической установки и представляет риски технико-экономических потерь и нарушений требований регламентов по безопасности. Для преодоления этого недостатка требуется выбор стратегии и направления техпереворужения и реконструкции системы электроснабжения.

Имеется две стратегии решения этой технико-экономической задачи:

Первая стратегия – Повышение устойчивости технологической установки за счет смещения вправо-вниз границы зоны устойчивости путем техпереворужения и реконструкции электропривода технологической установки. Это весьма затратный вариант, так как требует изменений в первичном оборудовании каждой технологической установки.

Вторая стратегия – Повышение устойчивости технологической установки за счет смещения влево-вверх значений параметров составляющей потока провалов. Это значительно менее затратный вариант, так как предусматривает техпереворужение и реконструкцию вторичной аппаратуры, причем отдельные устройства РЗА определяют значения параметров части потока провалов большого количества отдельных потребителей электроэнергии и их групп, определяемых схемой системы электроснабжения.

Известен следующий типовой список направлений техпереворужения и реконструкции РЗА в системах электроснабжения ответственных потребителей, он состоит из четырех групп мероприятий:

- 1) опережающее автоматическое деление сети внешнего электроснабжения с соответствующим повышением остаточного напряжения для пуска и уменьшения задержки из-за каскадного действия пускового органа АВР. Для реализации может потребоваться 2–3 устройства по числу питающих подстанций внешнего электроснабжения;
- 2) применение быстродействующего АВР с комбинированным пуском (напряжение, частота, угол...). Для реализации могут потребоваться несколько устройств (по числу ГПП);
- 3) повышение быстродействия ступенчатых защит за счет использования каналов связи для блокировки быстродействующих ступеней. Для реализации может потребоваться сеть из десятков каналов связи (по числу защищаемых объектов (шин, линий). При реализации сети передачи блокирующих сигналов может использоваться система передачи GOOSE-сообщений на базе стандарта 61850 [2];
- 4) повышение быстродействия РЗА за счет уменьшения степени селектив-

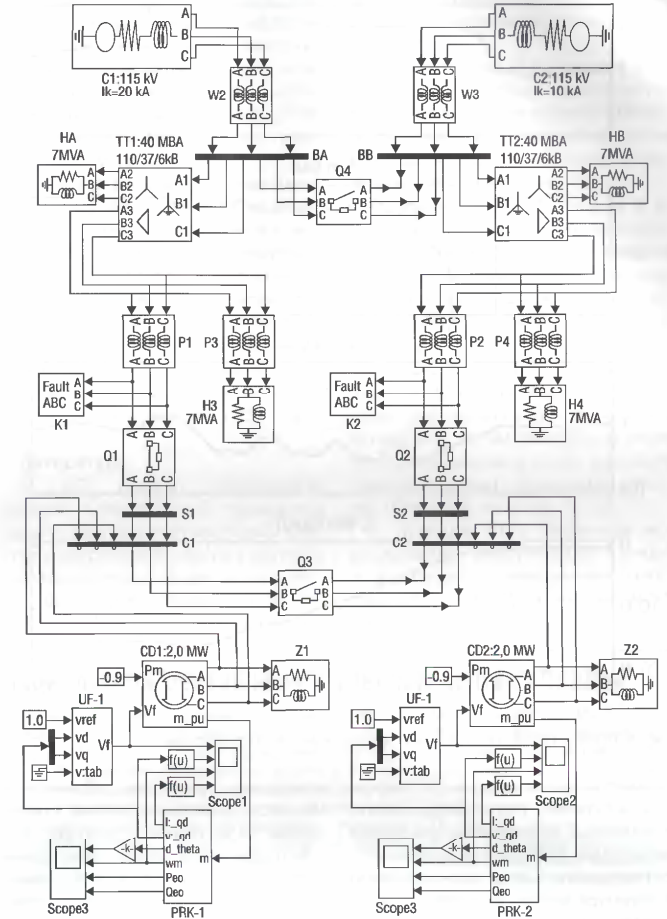


Рис. 4. Структурная схема модели системы электроснабжения

ности в защитах с относительной селективностью. Для реализации может потребоваться замена практически всего комплекта РЗ (десятки и сотни устройств) на микропроцессорную реализацию в сочетании с заменой выключателей в отдельных энергорайонах или в системе электроснабжения в целом.

Список из четырех направлений техпереворужения и реконструкции вторичной аппаратуры РЗА составлен в порядке увеличения требуемого количества и стоимости устройств РЗА.

На рис. 2 представлен алгоритм последовательного подбора и технико-экономического обоснования варианта структуры и технических параметров РЗА по критерию обеспечения устойчивости технологических установок.

Ядром алгоритма является математическая модель электромагнитных и электромеханических переходных процессов в системе электроснабжения с подключенными электроприемниками и системой РЗА. Используемая модель должна адекватно учитывать свойства связанности сети внешнего электроснабжения,

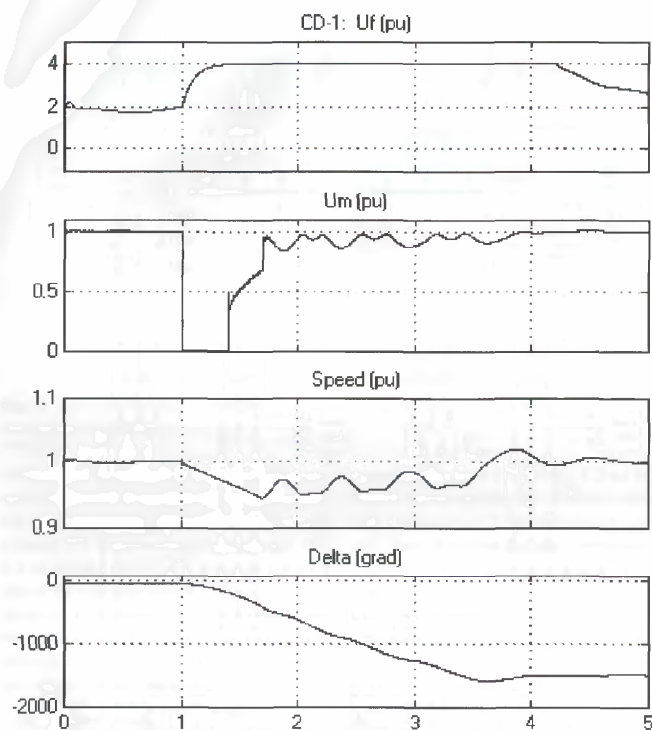


Рис. 5. Пример расчета переходного режима электрической системы

параметры групп асинхронных и синхронных двигателей с учетом инерционности и моментных характеристик вращаемых механизмов. Действия РЗА моделируются последовательными переключениями в структуре модели (моделирование по временным интервалам) [5, 6].

Пример моделируемой схемы системы электроснабжения приведен на рис. 3.

На главной понизительной подстанции (ГПП) (см. рис. 3) установлены два трансформатора ТДТН-40000 напряжением 110/38,5/6,6 кВ. Электрическая связь трансформаторов с шинами ЗРУ-6 кВ подстанций выполнена с помощью токоограничивающих реакторов. Электрическая связь ГПП с шинами узловых подстанций энергосистемы напряжением 110 кВ осуществлена с помощью воздушных линий W1, W2.

На выделенной технологической подстанции ТП установлены синхронные турбодвигатели СТД-1000, используемые в качестве электроприводов ком-

прессорных установок. Суммарная мощность электродвигателей каждой секции ТП составляет – 2000 кВт. Все электродвигатели имеют тиристорные системы возбуждения и АВР. Трансформаторные нагрузки НГ представлены обобщенно, значениями параметров P и Q.

Математическая модель системы (см. рис. 4) сформирована методом объектного моделирования. Использована общепринятая мнемоника объектов электрической системы, а также графическое отображение ее структуры. При полной готовности структурной схемы и старте модели программные модули использованных объектов определенным образом сопрягаются, организуется вычислительный процесс при заданных условиях и назначениях технических параметров.

Структурная схема модели полностью соответствует расчетной схеме. Предусмотрена возможность имита-

ции коротких замыканий, отключений и включений выключателей, а также автоматического ввода резервного питания потребителей электроэнергии при аварийных ситуациях. Электросеть системы представлена моделью в фазных координатах, в трехфазном исполнении, с учетом электромагнитных и электромеханических процессов. Токи во всех ветвях и фазах такой модели формируются с учетом их амплитудно-фазовых параметров, то есть адекватно естественным токам.

В качестве примера рассмотрим динамический режим эквивалентного синхронного двигателя СД-1 при трехфазном КЗ в цели кабельного ввода ТП, отключении поврежденного кабеля и действии системы АВР смежных секций. Расчетные осциллограммы приведены на рис. 5.

Как видно из осциллограмм, при коротком замыкании ($\Delta T_{КЗ} = 0,4$ с) напряжение U_m на выводах двигателя резко снижается до нуля. Под действием АВР напряжение возбуждения U_f форсируется до $2U_{fном}$. Влияние форсировки наглядно проявляется уже при отключении поврежденного кабеля, напряжение на выводах двигателя возрастает от 0,35 до 0,70 о.е.

В интервале времени перерыва питания ($\Delta T_{КЗ} + \Delta T_{АВР} = 0,7$ с) нагруженный электродвигатель ($P_0 = 0,9$ о.е.) тормозится так, что круговая частота вращения его ротора ω_m снижается до 0,925 о.е. При таком снижении частоты вращения и восстановлении напряжения нормальной частоты возникает асинхронный ход синхронного двигателя, который сопровождается значительными колебаниями режимных параметров.

При восстановлении питания двигателя (от смежной секции) возникают условия его ресинхронизации. В данном эксперименте, благодаря ускоренной работе АВР секций, двигатель втягивается в синхронизм за 2 с. При замедлении работы АВР ресинхронизация электродвигателя существенно затягивается.

При реализации подобным образом различных комбинаций исходных данных для моделирования явлений и событий в системе электроснабжения определяются комбинации параметров переходных процессов в системе электропривода технологической установки (см. рис. 5), а по ним определяют:

- параметры потока провалов в сочетании с оценкой устойчивости ТУ (устойчиво – неустойчиво);
- данные о границах зон устойчивости ТУ.

Данные о неустойчивых вариантах служат основой для выбора мероприятия по техпервооружению и реконструкции с изменением структуры и параметров настройки системы РЗА. Учет экономических факторов позволяет последовательно переходить от наиболее простых и дешевых вариантов, постепенно вынужденно переходя к более сложным и более дорогим мероприятиям техпервооружения и реконструкции РЗА системы электроснабжения ответственных потребителей. Критерием необходимости и достаточности выбранного варианта состава мероприятий техпервооружения и реконструкции является устойчивость технологической установки, причем запас устойчивости может количественно определяться по взаимному положению значений прогнозируемых параметров потока провалов и границы зоны устойчивости технологической установки в пространстве параметров провалов питающего напряжения на диаграмме по форме рис. 1.

Выводы:

1) Представленная методика позволяет расчетным итерационным путем определить экономически выгодную структуру и параметры РЗА для системы электроснабжения с обеспечением количественной оценки запаса устойчивости работы ответственных технологических установок.

2) Представленная расчетная методика может быть применена не только для потребителей электроэнергии, но и для собственных нужд генерирующих источников, включая АЭС. В последнем случае при определении параметров потока провалов следует в обязательном порядке учитывать неправильные действия РЗА (отказы, излишние и ложные срабатывания), а также отказы выключателей и действия УРОВ.

Литература

1. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Дьяков А. Ф., Максимов Б. К., Ипполитова Н. С. Автоматизация новых и

действующих электрических подстанций. Энергетика за рубежом. Выпуск 3. 2006. Приложение к журналу Энергетик, с.169.

3. Арцишевский Я. Л., Чимаев Р. В. Анализ вероятностных характеристик провалов напряжения в системах электроснабжения. Материалы XXVII сессии семинара «Электроснабжение». Новочеркасск. 27–29 сентября 2005г.

4. Арцишевский Я. Л., Иванов В. И. Методика прогнозирования статистики провалов питающего напряжения в секционированных распределительных сетях электроснабжения. Изв. вузов. Электромеханика, 2004, № 6, стр. 18–22.

5. Арцишевский Я. Л., Задкова Е. А., Кузнецов Ю. П. и др. Методика реализации требований к релейной защите и автоматике систем электроснабжения электроприемников с особо сложными технологическими процессами. Вестник МЭИ, 2008, № 4, стр. 55–59.

6. Кузнецов Ю. П. Объектное моделирование электрических станций и подстанций в операционной среде «Mathlab». – М.: Издательство МЭИ. 2008.