

АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.Н. Шпиганович (ЛГТУ), С.А.Ермолов (ООО "Тепловодомонтаж-ТВМ")

Рассмотрен пример анализа развития аварийной ситуации, возникшей в результате трехфазного замыкания на шинах подстанции с применением методов компьютерного моделирования. На основании полученных результатов возможно определить участки промышленных сетей электроснабжения, наиболее подверженные повреждениям, а также достичь оптимального алгоритма работы устройств релейной защиты и автоматики.

При проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий, характеризующихся большой разветвленностью и широким набором применяемого электрооборудования, достаточно малое внимание уделяется вопросу анализа развития повреждений при всевозможных аварийных ситуациях. Такой анализ необходим с целью определения участков электротехнической системы, авария на которых способна вызвать повреждения соседних, исправных единиц электрооборудования. Результаты анализа применимы для определения оптимальных алгоритмов действия устройств релейной защиты и автоматики, что позволит локализовать повреждения на заданном участке, снизить вероятность повреждения большого числа единиц электрооборудования.

Проанализируем протекание аварии на одном из участков системы электроснабжения листопрокатного цеха Новолипецкого металлургического комбината, для чего воспользуемся методами компьютерного моделирования. Модель участка системы электроснабжения строилась с использованием пакета программ OrCAD 9.2, в частности OrCAD Capture и PSpice Model Editor. В программе уже реализована методика расчета электрических схем, необходимо только описать модели отдельных элементов системы электроснабжения. В основном использовались схемные представления элементов, принятые в теории электроснабжения — кабельные линии, реакторы и т.п. (так называемая П-образная схема замещения), но некоторые модели (трансформаторы, двигатели постоянного тока) строились с использованием принципиально иного подхода. В результате полученная модель системы электроснабжения позволяет анализировать работу как при установившихся режимах, так и в динамике. Визуально модель выглядит подобно электрической схеме, и эксперименты с моделью проводятся так же, как они проводились бы на реальном объекте. Подход, который был использован при построении модели, применим для любой системы, содержащей аналогичные элементы.

Предлагаемая к рассмотрению система электроснабжения по своей структуре получила достаточно широкое

распространение на многочисленных промышленных предприятиях России. К ее особенностям следует отнести разделение питания нагрузки с нелинейными вольт-амперными характеристиками (ВАХ) и резкопеременным графиком работы и остальной нагрузки. Для этой цели на цеховой подстанции предусматриваются две группы трансформаторов. В данном примере рассматривается питание нагрузок, содержащих источники высших гармоник от группы трансформаторов. Если в системе присутствуют источники высших гармоник, то наиболее распространенный метод борьбы с ними — фильтрокомпенсирующие установки (ФКУ), присоединенные к шинам цеховой подстанции, от которой питаются такие нагрузки. На отходящих кабельных линиях с целью защиты питаемых установок и агрегатов устанавливаются силовые выключатели (масляные, вакуумные, элегазовые). Такие же выключатели защищают ФКУ. Среди нагрузок различаются достаточно мощные, обуславливающие основную долю потребления электроэнергии — прокатные станы, размотыватели, моталки; и всевозможные вспомогательные механизмы (смазки, орошения и т.п.).

Процесс включения/отключения электрооборудования, вызванный требованиями ТП или несвязанный с аварией, не должен вызывать повреждения отдельных элементов системы. В этом случае происходит постепенное отключение нагрузок существующего участка (так называемая разгрузка линии) с целью максимально возможного уменьшения протекающего по отключаемому участку электрического тока. В результате, запасенная в индуктивности линии и электрооборудования энергия становится минимальной, и возникающие перенапряжения после отключения участка на стороне нагрузки становятся несущественными и нормально подавляются средствами защиты от перенапряжений, такими как RC-цепочки, включенными между фазными проводниками и "землей" или нелинейными ограничителями перенапряжений.

В случае же отключения нагрузки вследствие аварии на линии необходимо как можно быстрее отключить поврежденный участок от остальной системы, и чем ближе к



Рис. 1



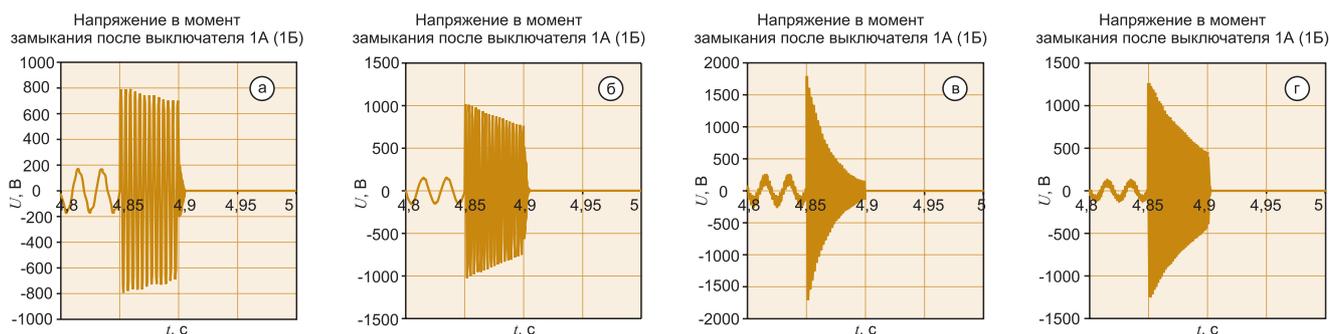


Рис. 2. Графики колебания токов, протекающих через фильтр 5-й, 7-й, 11-й и 13-й гармоник

месту повреждения будет произведено отключение, тем меньше энергии запасется в индуктивности поврежденного участка и тем меньше оборудования может выйти из строя в результате воздействия коммутационного перенапряжения. Большое значение имеет также величина тока в момент отключения поврежденного участка. Чем меньше отключаемый ток, тем ниже уровень возникающих перенапряжений. По своей сути процесс отключения участка системы электроснабжения является процессом обмена энергией между индуктивностью отключаемого участка и емкостью этого участка относительно "земли". Этот процесс описывается следующим выражением:

$$\frac{L \cdot i^2}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2} + i^2 \cdot R,$$

где L — индуктивность отключаемого участка, Гн; i — ток через отключаемый участок на момент отключения; C — емкость отключаемого участка относительно "земли", Ф; U — возникающее напряжение в отключаемом участке относительно земли, В; R — сопротивление отключаемого участка.

В качестве места аварии (замыкания трех фаз между собой) выбраны шины 10 кВ подстанции 1 РП. Отключение поврежденного участка проводится двумя выключателями 1А и 1Б. Время срабатывания устройств защиты (включает срабатывание релейной защиты и срабатывание механизма выключателя) — 0,05 с. Графики изменения напряжения после выключателя 1А (1Б) и тока, протекающего через выключатель в момент аварии, приведены на рис. 1 (а, б). Из рисунка видно, что при включенных в сеть ФКУ опасного перенапряжения не возникает. Следовательно, угрозы возникновения электрической дуги в результате перенапряжения и повреждения контактов выключателя в данном случае не наблюдается. Однако в момент отключения значительная часть энергии была запасена в самих ФКУ, и ей необходимо было рассеяться. В результате возник процесс обмена энергией между всеми ФКУ (рис. 2).

Возникающие при отключении 1 РП колебания тока являются колебаниями повышенной частоты по отношению к частоте сети. Подобные колебания могут способствовать образованию дуги в месте замыкания.

Кроме того, величина тока через ФКУ, возникающего в момент отключения, вполне может вывести из строя участки кабельных линий, соединяющие ФКУ и шинопровод 1 РП, а также оборудование ФКУ.

Сами шинопроводы 1 РП в результате высокочастотных колебаний тока с большой амплитудой могут быть подвержены опасным механическим нагрузкам, следовательно существует высокая вероятность их разрушения.

Так как в момент замыкания через участок между шинами 1РП и ФКУ будет протекать значительный ток, то сработает защита, и описанные выше колебания тока повышенной амплитуды и частоты будут длиться ограниченное время, необходимое для срабатывания защиты. В момент срабатывания возможны перенапряжения, в результате которых может возникнуть дуга между контактами выключателей ФКУ. Расчеты показывают, что данные напряжения могут достигать величины до 100 кВ, при номинальном линейном напряжении 10 кВ. Из-за малой протяженности кабельной линии между конденсаторами ФКУ и выключателями на конденсаторе после отключения и прекращения колебательных процессов при перенапряжении может остаться некоторый остаточный заряд. Время стекания такого заряда зависит от сопротивления кабельной линии относительно земли. Величина заряда может представлять опасность для обслуживающего персонала.

Таким образом, на основании проведенных опытов выявлены участки системы электроснабжения, которые могут пострадать вследствие замыкания на шинопроводах подстанции 1РП. При этом после срабатывания защиты и отключения аварийного участка подстанции возникают опасные явления (увеличение тока через элементы ФКУ). В результате воздействия повышенного тока срабатывает защита самих ФКУ, что приводит к возникновению опасных перенапряжений из-за достаточно большой энергии, запасенной в реакторах установок.

Исходя из анализа полученных результатов, возможно определить: места для установки устройств, обеспечивающих снижение перенапряжений, алгоритм срабатывания устройств релейной защиты и порядок коммутации выключателей, обеспечивающий минимальную вероятность выхода из строя оборудования.

*Шпиганович Александр Николаевич — д-р техн. наук, проф. Липецкого государственного технического университета, заслуженный работник высшей школы РФ;
Ермолов Сергей Анатольевич — инженер-электрик ООО "Тепловодомонтаж-ТВМ".
Контактные телефоны: (4742) 77-87-80, 77-53-16, 77-42-69. E-mail: varg@lipetsk.ru*