

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ РАЗРАБОТКЕ УСТРОЙСТВ ПА

Р.С. Ильных, ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»
А.К. Ландман, ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»
А.М. Петров, ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»
А.Э. Петров, ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»
О.О. Сакаев, ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

Решение большинства задач противоаварийного управления (ПАУ) основывается на анализе текущих схемно-режимных условий контролируемой сети. Это характерно как для задач, решаемых локальными устройствами противоаварийной автоматики (ПА) (АОПН, АПТП и т.п.), так и для задач общесистемных устройств ПА (АПНУ). Информация о схеме может служить для:

- выявления аварийного возмущения (АВ);
- определения величин требуемых управляющих воздействий (УВ);
- определения мест приложения УВ;
- отстройки от необслуживаемых АВ.

В общем случае, следует различать два основных понятия: состояние контролируемой сети, как совокупность (множество) находящихся в работе элементов сети, образующих ее структуру и событие изменения состояния, т. е. переход из одного состояния в другое в результате отключения/включения одного или нескольких элементов сети. Последнее может являться результатом аварийного возмущения в сети и характеризовать ту или иную аварийную ситуацию.

Состояние сети и переход из одного состояния в другое определяется соответствующим состоянием и изменением состояния коммутационных аппаратов, причем не только относящихся к тому или иному элементу, но и смежных.

Существует несколько возможностей получать информацию о требуемых аварийных ситуациях:

1. Использование традиционных устройств фиксации отключения элемента (ФОЭ) электрической схемы электроэнергетической системы (линии (ФОЛ), трансформаторов (ФОТ), генератора (ФОГ) и др).
2. Фиксация аварийных ситуаций непосредственно в устройствах противоаварийного управления, используя релейную логику.
3. Использование устройства контроля состояния схемы (КСС), которое формирует дискретные сигналы об аварийных ситуациях и, одновременно, информацию о состоянии сети.

Первые два подхода фактически сводятся к повторению на новой элементной базе существующих релейных схем со всеми их достоинствами и недостатками (при этом, надо учитывать, что принципы и схемы определялись физическими особенностями применяемой элементной базы, а расширение функциональности новых устройств идет в направлении увеличения количества контролируемых параметров, добавление новых сервисных функций, не связанных, непосредственно, с алгоритмом противоаварийного управления. Данное направление можно охарактеризовать больше как экстенсивное и не приводящее к качественным изменениям в технологии функционирования устройств ПА.

Устройства ФОЭ контролируют только состояние или отключение/включение коммутационных аппаратов конкретного элемента, в то время как, состояние этого элемента может зависеть и от состояния или перехода состояния других (смежных) коммутационных аппаратов.

Для того чтобы учесть такие зависимости, требуется создание еще одной логической схемы (внешней, по отношению к ФОЭ) по состояниям и фиксируемым событиям ФОЭ всех контролируемых объектов. Эта логика может быть весьма непростой и она находится в непосредственной зависимости от топологии распредустройства, причем, она уникальна для каждого объекта и, соответственно, устройство, ее реализующее также является уникальным.

Более привлекательной и перспективной представляется разработка специализированного устройства контроля состояния схемы (КСС), на базе микропроцессорной техники позволяющего решать весь спектр задач получения информации о текущей схеме, посредством использования топологического анализа.

Рассмотрим задачу контроля состояния схемы на примере реальной подстанции 500 кВ (рис. 1). Схема распредустройства ОРУ ПС 500 кВ представляет собой схему 3/2, состоящую из 7 цепочек. Шины секционированные, делящие ОРУ на две части по 3 и 4 цепочки соответственно. ОРУ содержит 7 ячеек ВЛ 500 кВ, две ячейки шинных реакторов и две — автотрансформаторов. Состояние сети 500 кВ контролируется системной противоаварийной автоматикой, обеспечивающей статическую устойчивость. Важными авариями, требующими осуществления управляющих воздействий являются отключения линий: ВЛ-1, ВЛ-2, ВЛ-3, ВЛ-4, ВЛ-5, ВЛ-6, ВЛ-7, а также такие коммутации в сети, при которых две

линии: ВЛ-1 и ВЛ-2 или ВЛ-3 и ВЛ-4, подходящие к шинам подстанции оказываются выделены на самостоятельную работу и не связаны с шинами подстанции.

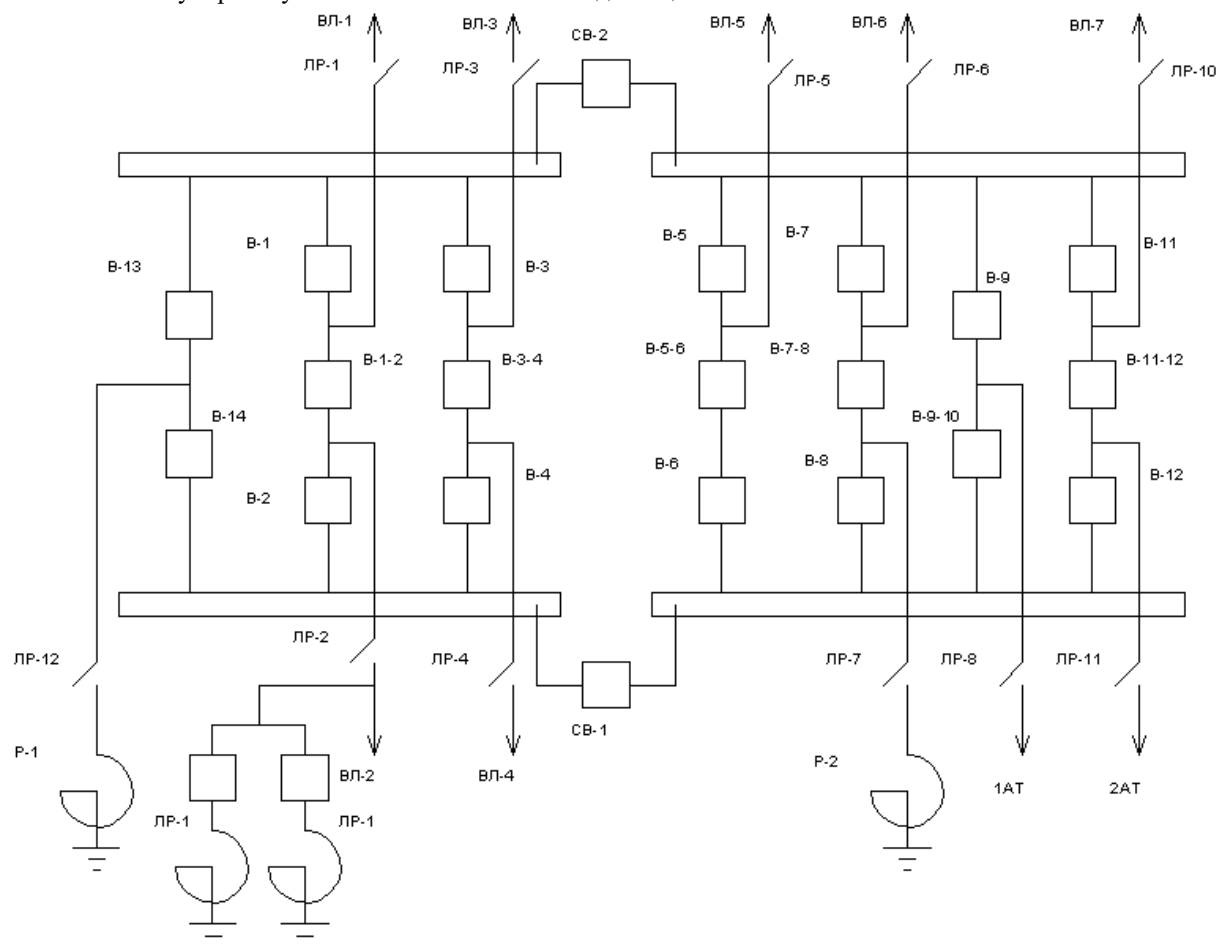


Рис 1. Схема ОРУ 500 кВ

Аварий, требующей фиксации, также является деление шин 500 кВ по секционным выключателям СВ-1 и СВ-2. Кроме того, необходимо формировать сигналы о длительной фиксации ремонтного либо рабочего состояния ВЛ.

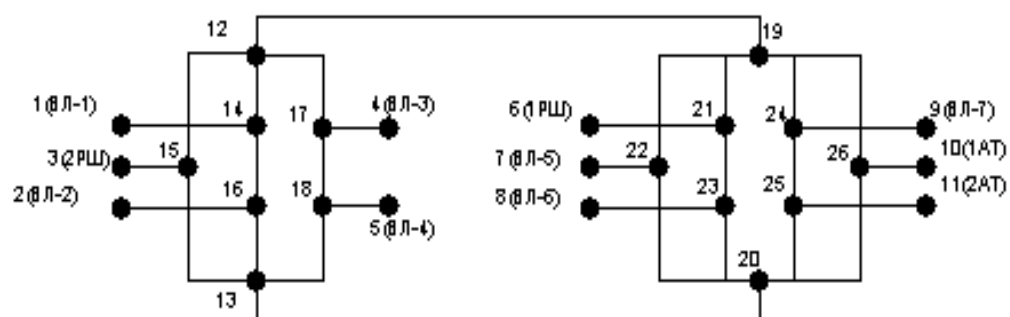


Рис 2. Схема ОРУ 500 кВ в виде ненаправленного графа

В соответствии с [1] приведенная на рис. 1 схема может быть представлена в виде ненаправленного графа (рис. 2). Граф состоит из вершин и соединяющих их ветвей. Вершинам соответствуют присоединения (элементы) схемы, между которыми требуется оценить связность, а ветвям соответствуют коммутационные аппараты. В табличном виде граф выглядит следующим образом (табл. 1)

Таблица 1: Представление графа схемы ОРУ 500 кВ

Вершина 1	Вершина 2	Наименование коммутационного аппарата, определяющего состояние ветви
1	14	ЛР-1
2	16	ЛР-2
3	15	ЛР-12
4	17	ЛР-3
5	18	ЛР-4
6	21	ЛР-5
7	22	ЛР-6
8	23	ЛР-7
9	24	ЛР-8
10	26	ЛР-9
11	25	ЛР-10
12	19	СВ-2
13	20	СВ-1
12	15	В-13
15	13	В-14
13	16	В-1
16	14	В-1-2
14	12	В-2
12	17	В-3
17	18	В-3-4
18	13	В-4
19	22	В-5
22	20	В-5-6
20	23	В-8
23	21	В-7-8
21	19	В-7
19	24	В-11
24	25	В-11-12
25	20	В-112
20	26	В-10
26	19	В-9

Каждая аварийная ситуация может быть задана в виде двух множеств узлов [2]. Одно множество (базовое) описывает набор вершин (элементов схемы), относительно которых контролируется отделение одной или нескольких вершин (элементов), второе множество задает непосредственно набор вершин (элементов), отделение которых необходимо контролировать. В таблице 2 приведено описание этих множеств для рассматриваемого примера.

Таблица 2: Описание множеств элементов схемы

№ пп	Наименование аварийной ситуации	Базовое множество	Множество отделившихся элементов
1.	Отключение ВЛ-1	2,4,5,7,8,9,10,11	1

№ пп	Наименование аварийной ситуации	Базовое множество	Множество отделившихся элементов
2.	Отключение ВЛ-2	1,4,5,7,8,9,10,11	2
3.	Отключение ВЛ-3	1,2,5,7,8,9,10,11	4
4.	Отключение ВЛ-4	1,2,4,7,8,9,10,11	5
5.	Отключение ВЛ-5	1,2,4,5,8,9,10,11	7
6.	Отключение ВЛ-6	1,2,4,5,7,9,10,11	8
7.	Отключение ВЛ-7	1,2,4,5,7,8,10,11	9
8.	Выделение ВЛ-1 и ВЛ-2	4,5,7,8,9,10,11	1,2
9.	Выделение ВЛ-3 и ВЛ-4	1,2,7,8,9,10,11	4,5
10.	Деление шин 500 кВ	12,13	19,2

Случаи отключения линии являются однотипными и описываются одинаковым образом:

Каждая линия в рассматриваемом примере коммутируется двумя выключателями, также необходимо учитывать наличие разъединителей. При коммутациях, приводящих к отключению ВЛ, линия оказывается несвязанной с другими линиями, а также автотрансформаторами, т. е. элементами распределительного устройства, обеспечивающими связь с другими объектами ОЭС Сибири. Из рис. 2 видно, что, например, для ВЛ-1 в качестве базовых вершин необходимо выбрать вершины, соответствующие 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, а в качестве отделяющейся — вершину за линейным разъединителем.

Для аварий, связанных с выделением двух линий, в множество отделившихся вершин входят вершины за линейными разъединителями соответствующих линий (см. Таблицу 2, п. 8, 9).

Деление шин подстанции:

В случае с делением шин подстанции необходимо контролировать связность между узлами, соответствующими шинам подстанции. Это вершины 12,13,19,20. Вершины 12 и 13 принимаются в качестве множества базовых вершин, а вершины 19 и 20 в качестве множества отделившихся (см. Таблицу 2, п. 10).

Тонким моментом при реализации устройства КСС является необходимость обеспечить функционирование данного устройства в реальном времени [3]. Это накладывает жесткие требования к алгоритму топологического анализа, особенно с учетом желания обеспечить анализ для достаточно больших схем.

Устройство КСС, разработанное ЗАО «ИАЭС», реализовано на базе КПА-М. Используемые алгоритмы топологического анализа [2] позволяют в жестком реальном времени выполнять пересчет связности схемы распределительного устройства при каждой коммутации любого из коммутационных аппаратов, введенных в устройство. Реализованный в устройстве подход позволил разделить задачи выявления аварийных ситуаций и реализации задержек, необходимых при формировании информации ремонт/не ремонт для элементов схемы, что в свою очередь позволило формализовать задачу контроля состояния схемы.

Устройство КСС может выступать в качестве самостоятельного устройства или, при необходимости, может быть интегрирована в любое устройство ПА на базе КПА-М (например в устройство ЛАДВ или устройство выбора очередности отключения генераторов).

Литература

1. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир, 1978.
2. Ильиных Р.С., Ландман А.К., Петров А.М, Петров А.Э, Сакаев О.О. Устройство контроля состояния схемы на базе КПА-М.// Энергосистема: управление, конкуренция, образование. Сборник докладов III международно-практической конференции. Том 1. Екатеринбург, 2008. - Стр 221-224.
3. Петров А.Э, Сакаев О.О., Чумаков В.А. Организация управления в реальном масштабе времени в микропроцессорных устройствах противоаварийной автоматики на базе многозадачных операционных систем реального времени.// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. - 2009, №1. - Стр 195-198.

Контактная информация

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»
 Адрес: Россия, г.Новосибирск, 630091, ул.Крылова, 2
 Тел./факс: (383)2680223
 E-mail: iaes@iaes.ru