

## **АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ УЧЕТОМ ОТКАЗОВ ОБЩЕЙ ПРИЧИНЫ**

**Перехватов Д. П.**

**научный руководитель канд. техн. наук Тремясов В. А.  
Сибирский федеральный университет**

Отказы общей причины (ООП) – это отказы множества различных или одинаковых элементов устройства релейной защиты (УРЗ), вызванных одной причиной или одним комплексом причин, например, влиянием электромагнитных полей.

К одновременному отключению многих элементов УРЗ могут привести следующие группы событий:

1. Дефекты и неисправности элементов аппаратуры, старение изоляции;
2. Неисправность цепей (включая неисправность цепей трансформаторов тока, неисправность оперативных цепей);
3. Отказы систем охлаждения и отопления;
4. Ошибки оперативного, ремонтного и обслуживающего персонала.
5. Внешние воздействия (взрывы, ураганы, цунами, оползни, землетрясения и др.).
6. Пожары в помещениях УРЗ, кабельных тоннелях и распределительных устройствах.

Вероятность возникновения этих событий зависит от многих факторов. Для событий первой, второй и третьей групп эти вероятности определяются надежностью каждой из упомянутых систем, т. е. зависят от надежности элементов и наличия избыточности (резерва), а также от качества монтажа УРЗ. Для событий четвертой группы определяющим является тренированность персонала. События пятой группы (за исключением взрывов) реализуются относительно редко (один раз в сто и более лет) и точно оценить их вероятность не представляется возможным. Пожары же представляют частую и реальную угрозу для надежности и живучести УРЗ.

Результатами отказов общей причины УРЗ являются:

1. Повреждение большого числа силового оборудования.
2. Перерыв электроснабжения потребителей первой и второй категории.
3. Непосредственная угроза жизни персонала и, возможно, населения окружающего района.

В табл.1 приведены некоторые категории причин, вызывающих отказы множества элементов УРЗ.

Предупреждение ООП осуществляется на стадии проектирования УРЗ или в процессе эксплуатации путем дедуктивного качественного анализа обстоятельств возникновения этих отказов.

Дедуктивный анализ предполагает задание какого-либо нежелательного события (например, одновременное отключение нескольких терминалов УРЗ) и заключается в определении возможных путей, приводящих к этому событию. Результат такой процедуры может быть представлен в виде дерева отказов (ДО).

Общая причина может вызвать одновременно несколько исходных событий отказов элементов – минимальное сечение отказов (МСО). Поэтому не всегда при анализе надеж-

ности можно пренебречь МСО высокого порядка, так как МСО, состоящие из большого числа событий отказов ( $n$  – мерные) эквивалентны одномерным МСО по своему действию.

Таблица 1

Категории и примеры общих причин отказов УРЗ

Источник	Символ	Категория	Примеры причин
1	2	3	4
Окружающая среда, элементы УРЗ или отдельных блоков	I	Динамические воздействия	Землетрясения, разрушение конструкций
	V	Вибрации	Движущиеся механизмы, землетрясения
	P	Давление	Взрывы, изменения в системах за пределами допусков
	G	Посторонние частицы	Запыленность воздуха
	T	Температура	Пожары, молнии, короткие замыкания электрических цепей
	E	Нарушение электропитания	Единый источник энергии
	F	Изготовление	Повторяющиеся дефекты при изготовлении.
Персонал	N	Сборочно-монтажное предприятие	Исполнитель или бригада
	M	Обслуживание	Неправильная процедура, неквалифицированный персонал

МСО называется МСО с общим характером отказов, если общая причина приводит к появлению сразу всех событий из данного МСО. При качественном анализе ДО очень важно выявить такие МСО.

Можно достаточно быстро определить МСО с общим характером отказов, если имеются все МСО и перечни общих причин событий ООП. Однако, сложные ДО имеют большое число  $n$ -мерных МСО. Для определения всех МСО потребуются большие затраты времени. При этом нельзя пренебрегать МСО высокого порядка, если возможно появление ООП. Для качественного анализа ДО и определения МСО с ООП используется подход на основе упрощенного ДО.

Исходное событие отказа элемента УРЗ называется нейтральным событием по отношению к общей причине, если оно является независимым от этой причины, Для данной общей причины любое исходное событие отказа в ДО является, либо нейтральным, либо событием с общим характером отказов.

В рассматриваемом подходе предполагается наличие вероятной ситуации для каждой общей причины и известна топология сферы ее действия. Иными словами, если вероятность появления большей части нейтральных событий отказов существенно меньше вероятности появления событий с ООП, то принимается, что данные нейтральные события исключаются из ДО.

Классификация исходных событий отказов элементов с использованием вероятностей их появления позволяет упростить ДО в соответствии с приемами, показанными на рис.1, по порядку снизу вверх.

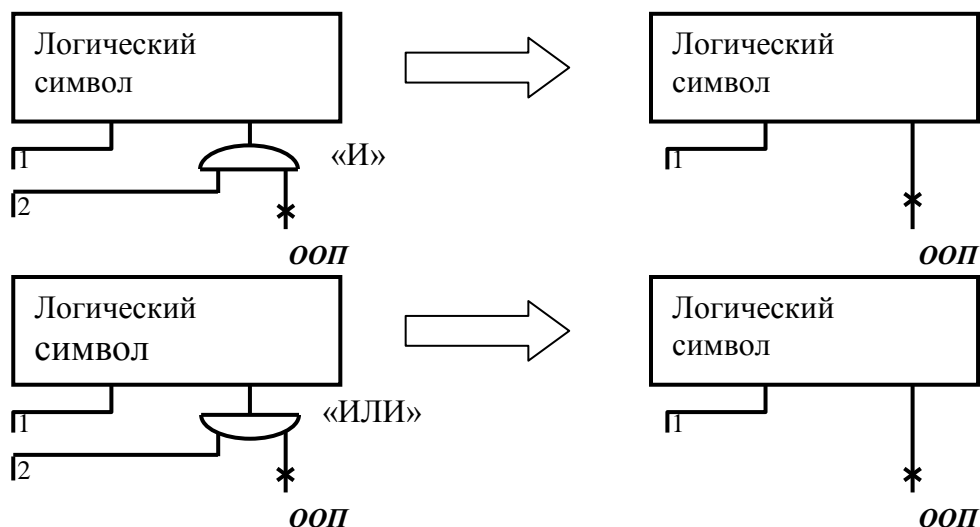


Рис. 1. Упрощение в ДО с помощью ветви ООП, имеющей очень высокую вероятность

В случае простых ДО может быть использован весьма эффективный алгоритм нахождения МСО с общей причиной. В алгоритме применяется простое правило: каждый вход логического знака «И» соответствует элементу определенной строки матричного списка, а в случае логического знака «ИЛИ» каждый вход является элементом некоторого столбца матричного списка. При использовании этого алгоритма каждый логический знак заменяется событиями на его входе. Входы, в свою очередь, могут быть выходами других логических знаков или исходными событиями. Составление матричного списка завершается, когда все логические знаки в ДО заменены исходными событиями. Из полученного матричного списка исключаются все не минимальные сечения.

Применим этот алгоритм в ДО на рис. 2.

Логическим знакам присвоим буквенные символы (А, В, С). На первом шаге логический знак А («И») заменяем событиями на его входе (конечный результат каждого шага заключен в прямоугольник)

В, С

На втором шаге заменяем логический знак В («И») исходными событиями на его входе

1, 3, 12, С

На третьем шаге заменяем логический знак С («ИЛИ») событиями на его входе

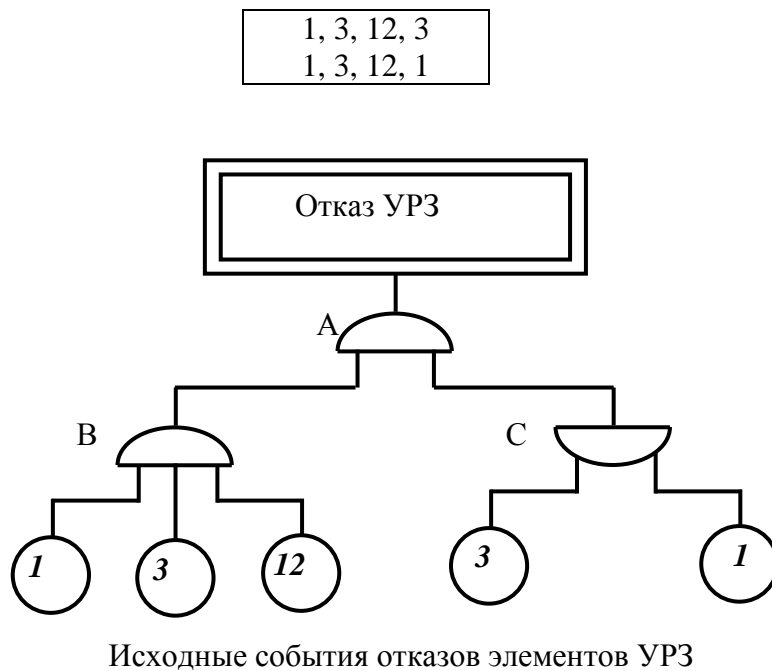


Рис.2. Упрощенное ДО УРЗ для отказов общей причины E

Когда в строке матричного списка какое-то исходное событие отказа появляется более одного раза, необходимо применить правило алгебры логики:  $A + A = A$ . В результате получаем

1, 3, 12, 1, 3, 12
-----------------------

Если имеются суперстроки матричного списка содержащие в себе другие строки, то первые исключаются. Также исключаются повторяющиеся (одинаковые) строки кроме одной. В результате получаем МСО, вызванное некой общей причиной E

1, 3, 12
----------

Эта процедура повторяется для других общих причин, чтобы получить все МСО, вызванные категориями этих общих причин.

Качественный анализ на основе полученной совокупности МСО с общей причиной позволяет определить «слабые» элементы и блоки в УРЗ и разработать мероприятия по их устранению.

Если имеется статистическая информация об ООП, то можно оценить количественные характеристики надежности УРЗ по методикам, описанным в литературе.