

Анализ и расчёт надёжности сложных структур с использованием ЭВМ

Солёный А.В., магистр; Ковалёв А.П., профессор, д.т.н, зав. кафедрой "Электроснабжение промышленных предприятий и городов"

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

К невосстанавливаемым в процессе эксплуатации системам будем относить такие системы, восстановление которых по каким-либо причинам невозможно непосредственно в рассматриваемый период времени, [1].

Для большинства электротехнических элементов можно выделить предельные случаи возможных внезапных отказов: обрыв цепи и короткое замыкание. Например, в конденсаторе обрыв проводников, припаянных к обкладкам, уменьшает его ёмкость до нуля (отказ типа «обрыв цепи»), или при увеличении токов утечки больше допустимого значения, происходит пробой конденсатора (отказ типа «короткое замыкание»).

Аналогом элементов с тремя состояниями могут быть: краны, вентили различных типов, запорная арматура, заглушки и другие прерыватели потока, для которых в неработоспособном состоянии поток не прерывается («короткое замыкание»), или не передаётся («обрыв цепи»).

Рассмотрим сложную по структуре схему. Все элементы, которые входят в схему, могут отказывать в процессе эксплуатации независимо друг от друга. Элементы, из которых состоит схема, могут находиться в трёх состояниях: работоспособном и неработоспособном – отказ типа «обрыв цепи» и «короткое замыкание». Эти события несовместны. Потоки отказов типа «обрыв цепи» и «короткое замыкание» простейшие. Пропускная способность элементов неограниченна. Вероятность безотказной работы i -го элемента схемы обозначим через p_i . Обозначим через q_{oi} – вероятность появления отказа в i -м элементе типа «обрыв цепи», а через q_{si} – вероятность появления отказов в i -м элементе типа «короткое замыкание». Эти три состояния составляют полную группу событий: $p_i + q_{oi} + q_{si} = 1$.

Реальные технические системы не всегда представляют собой совокупность последовательно и параллельно соединенных элементов. Существуют и более сложные системы, например, если в состав схемы входит, хотя бы одна «мостиковая структура», такая схема является сложной (рис. 1), [2].

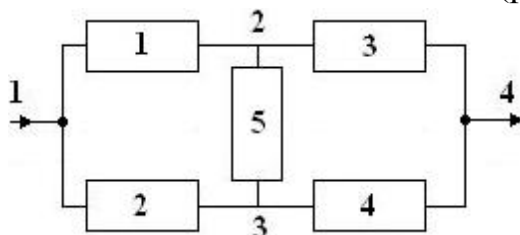


Рисунок 1 – Мостиковая структура

В мостиковой структуре элементы соединены таким образом, что ее дальнейшее упрощение невозможно с помощью элементарных преобразований (используя формулы оценки надёжности для последовательного и параллельного соединения элементов). Возможно, преобразовать приближённым или точным методами с использованием преобразования «треугольник-звезда», «звезда-треугольник» [3].

Для оценки вероятности безотказной работы $R(t)$ системы рис. 1 с использованием персональной ЭВМ, в течение времени t предложен метод, основанный на методах: минимальных сечений и теореме о сумме вероятностей несовместных событий (метод разложения по группе элементов).

Рассмотрим первую часть алгоритма. Существуют некоторые группы элементов, одновременный отказ которых приводит к разрыву всех путей, связывающих вход и выход структуры. Набор элементов, отказ которых приводит к отказу структуры (т. е. разрыву всех связей между входом и выходом) в теории надёжности называется *сечением*. Если выявить все сечения, содержащиеся в исследуемой структуре, и определить их надёжность, то можно определить надёжность всей структуры.

В структуре, представленной на рис. 1, сечения образуют наборы элементов: 1-2; 3-4; 1-2-5; 1-3-4; 1-4-5; 2-3-4; 2-3-5; 3-4-5; 1-2-3-4; 1-2-3-5; 1-2-4-5; 2-3-4-5; 1-2-3-4-5.

Чем сложнее структура, чем больше в ее составе элементов, тем труднее выявить все содержащиеся в ней сечения. Так, чтобы выявить все сечения структуры на рис. 1, потребовалось бы рассмотреть 32 различных сочетания элементов. Вообще для структуры, содержащей n элементов, потребуется рассмотреть 2^n сочетаний. Вот почему прямой выбор сечений сложных многоэлементных систем очень трудоемкая операция.

Среди множества сечений сложных структур имеются такие, которые образованы минимальным набором элементов - это *минимальные сечения*. Для структуры, представленной на рис. 1 минимальными сечениями являются 1-2; 3-4; 1-4-5; 2-3-4. Действительно, если в любом из этих наборов убрать, хотя бы по одному элементу, оставшийся набор уже не будет сечением (рис. 2).

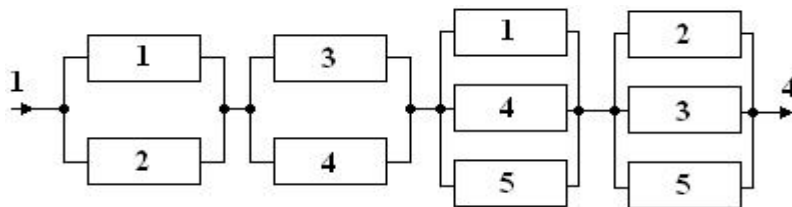


Рисунок 2 – Схема минимальных сечений

В теории надёжности выполнены исследования, которые доказывают, что надёжность последовательно соединенных минимальных сечений структуры определяет нижнюю границу ее надёжности. Причем, чем надежнее элементы, входящие в систему, тем точнее надёжность совокупности минимальных сечений отражает надёжность всей структуры, [4].

Рассмотрим вторую часть алгоритма. В сложной по структуре схеме выбирают базовый элемент (или группу базовых элементов), обычно им является элемент (или группа элементов), входящие в параллельные ветви. Для такого элемента (или группы) делаются следующие допущения:

а) базовый элемент находится в работоспособном состоянии и абсолютно надёжный;

б) базовый элемент находится в отказавшем состоянии.

Для этих случаев, представляющих собой два несовместных события, исходная структурная схема преобразуется в две новые. В первой схеме вместо базового элемента становится абсолютно надёжная линия. Во второй схеме вместо базового элемента – обрыв цепи [5].

Вероятность безотказной работы схемы, состоящей из n последовательно соединённых элементов, или состоящей из m параллельно соединённых элементов [3]:

$$R_0 = \prod_{i=1}^n p_i, \quad R_0 = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_i)$$

где n, m – число элементов в схеме;

p_i – вероятность безотказной работы i -го элемента.

Предложенный нами алгоритм основан на использовании «метода разложения сложной по структуре схемы относительно группы базовых элементов», в этом случае мы находим все возможные состояния схемы, затем используя метод минимальных сечений, выбираем те которые приводят к успешному функционированию схемы.

На кафедре ЭПГ разработана программа, которая позволяет использовать предложенный алгоритм, и определять минимальное и точное значение функции вероятности безотказной работы схемы в течении времени t с учётом двух типов отказов: отказ типа «обрыв цепи» и отказ типа «короткое замыкание».

Перечень ссылок

- 1) Козлов Б. А., Ушаков Н. А. Справочник по расчёту надёжности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Советское радио, 1975.
- 2) Рябинин И. А. Основы теории и расчёта надёжности судовых электроэнергетических систем. 2-е изд.-Л.: «Судостроение», 1971.
- 3) Ковалёв А. П., Спиваковский А. В. О преобразовании «звезда-треугольник» в расчётах надёжности сложных по структуре схем, элементы которых могут находиться в трёх состояниях. «Электричество», 1998 №10.
- 4) Зорин В.В., Тисленко В.В. и др. «Надёжность систем электроснабжения», Киев: «Вища школа», 1984.
- 5) Ковалёв А. П., Чаплыгин Д.В. «Об оценке надёжности невосстанавливаемых сложных по структуре схем с учётом двух типов отказов элементов», «Электротехника и энергетика» – выпуск 79.