

УДК 519.217.2

Анализ методов, основанных на теории графов для определения показателей надежности схем ЭЭС

Слышалов В.К., д-р техн. наук, Чекан Г.В., асп.

Сравниваются методы определения показателей надежности, использующие графы переходов и состояний. Выявляются сильные и слабые стороны каждого метода, указываются области их применения.

Ключевые слова: надежность, графы, Марковские процессы, топологический метод.

Analysis of the Methods based on the Theory of Columns for Defining Reliability Indexes of Electropower Systems Schemes

V.K. Slyushalov, Doctor of Engineering, G.V. Chekan, Post Graduate Student

The authors compare the methods of reliability indexes definition, using transition and conditions graphs. The advantages and disadvantages of each of these methods are revealed, their application spheres are discussed.

Keywords: reliability, columns, Markov's processes, topological method.

Введение. Известно большое количество методов определения показателей надежности. Для расчета показателей надежности схем ЭЭС, которые очень разнообразны по своему виду и назначению, предпочтительно применять методы, использующие граф переходов и состояний:

1) методы, основанные на теории Марковских процессов;

2) топологические методы.

Эти методы универсальны. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, но общим для них является использование графа переходов и состояний, который составляется для каждой конкретной задачи.

Ниже будут подробно рассмотрены достоинства и недостатки этих методов.

Методы, основанные на теории Марковских процессов. На основе теории Марковских процессов базируется Инженерная методика расчета показателей надежности [1]:

1) формулировка понятия «отказ» и исходных данных;

2) построение графа переходов и состояний;

3) составление по графу системы линейных дифференциальных (алгебраических) уравнений;

4) решение системы уравнений и определение вероятностей состояний системы;

5) вычисление требуемых показателей надежности.

Преимущества:

- большая универсальность и реализация на ЭВМ;

- возможность расчета динамики процесса во времени;

- наглядность графа состояний.

Недостатки:

- время безотказной работы и восстановления должно иметь экспоненциальное распределение вероятностей для соответствия критериям Марковского процесса.

Инженерная методика на основе теории Марковских процессов – одна из самых эффективных для определения показателей надежности ЭЭС. Однако в ряде случаев при относительной простоте графа переходов и состояний данная методика громоздка, и для определения стационарных показателей надежности гораздо удобнее воспользоваться топологическими методами, которые подробно описаны ниже.

Топологические методы. Эти методы базируются на определении показателей надежности по графам переходов состояний [1].

Преимущества:

- простота вычислительных алгоритмов;

- высокая наглядность графа;

- отсутствие необходимости составления сложных систем уравнений;

- возможность приближенных оценок.

Недостатки:

- интенсивности отказов и восстановлений – постоянные величины;

- трудности, порой не преодолимые, при анализе работы сложных систем.

Для иллюстрации эффективности применения данных методов рассмотрим упрощенную обобщенную схему подстанции, питающей потребителей 3-й категории. Определим в общем виде коэффициент готовности (K_r) и среднее время наработки на отказ (T_{Ocp}) этой схемы.

Сначала нужно составить граф переходов и состояний для данной схемы. Будем считать, что рассматриваемая система может находиться в одном из 3-х состояний:

1) подстанция в работе;

2) отказ оборудования подстанции;

3) плановый ремонт оборудования подстанции.

Под отказом понимается выход из строя силового трансформатора или коммутационной аппаратуры (как на высшей, так и на низшей стороне).

Полученный граф изображен на рисунке.

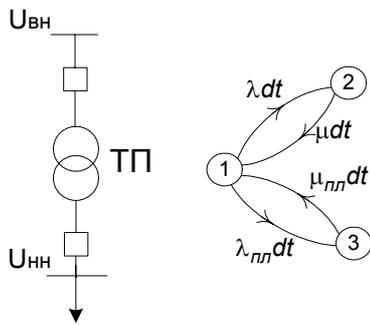


Схема и граф переходов и состояний подстанции, питающей потребителей 3-й категории

Необходимо рассчитать эквивалентные показатели надежности данной ТП. Это можно сделать с минимальной погрешностью, используя следующие выражения:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i; \tag{1}$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i}, \tag{2}$$

где λ_i и μ_i – интенсивности отказов и восстановления для оборудования подстанции.

Рассчитать $\lambda_{пп}$ и $\mu_{пп}$ можно аналогично.

Имея граф переходов и состояний, воспользуемся инженерной методикой и составим систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP^{(1)}(t)}{dt} &= \mu P^{(2)} dt - (\lambda + \lambda_{пп}) P^{(1)} dt + \\ &+ \mu_{пп} P^{(3)} dt, \\ \frac{dP^{(2)}(t)}{dt} &= \lambda P^{(1)} dt - \mu P^{(2)} dt, \\ \frac{dP^{(3)}(t)}{dt} &= \lambda_{пп} P^{(1)} dt - \mu_{пп} P^{(3)} dt. \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

Решая аналитически систему уравнений (3) для стационарного режима с использованием программного комплекса MathCAD, были получены следующие результаты [2]:

$$P^{(1)} = \frac{\mu \mu_{пп}}{\mu \mu_{пп} + \lambda \mu_{пп} + \lambda_{пп} \mu},$$

$$P^{(2)} = \frac{\lambda \mu_{пп}}{\mu \mu_{пп} + \lambda \mu_{пп} + \lambda_{пп} \mu},$$

$$P^{(3)} = \frac{\lambda_{пп} \mu}{\mu \mu_{пп} + \lambda \mu_{пп} + \lambda_{пп} \mu},$$

следовательно,

$$K_r = P^{(1)}, \text{ а } T_{Ocp} = \frac{K_r}{1 - K_r} T_{Bcp},$$

где T_{Bcp} – среднее время восстановления блока подстанции.

Теперь, имея тот же граф переходов и состояний, воспользуемся топологическим методом.

Финальная вероятность определяется как [1]

$$P^{(i)} = \frac{B_{mi}}{\sum_{i=1}^n B_{mi}}, \tag{4}$$

где n – число узлов графа; B_{mi} – произведение интенсивностей переходов из всех крайних свободных узлов в узел, соответствующий i -му состоянию системы, при перемещении по кратчайшему пути в направлении стрелок.

В ходе работы с графом получаем:

$$B_{m1} = \mu \mu_{пп},$$

$$B_{m2} = \lambda \mu_{пп},$$

$$B_{m3} = \lambda_{пп} \mu.$$

Подставляем полученные выражения в (4) и получаем:

$$P^{(1)} = \frac{\mu \mu_{пп}}{\mu \mu_{пп} + \lambda \mu_{пп} + \lambda_{пп} \mu},$$

$$P^{(2)} = \frac{\lambda \mu_{пп}}{\mu \mu_{пп} + \lambda \mu_{пп} + \lambda_{пп} \mu},$$

$$P^{(3)} = \frac{\lambda_{пп} \mu}{\mu \mu_{пп} + \lambda \mu_{пп} + \lambda_{пп} \mu},$$

следовательно,

$$K_r = P^{(1)}, \text{ а } T_{Ocp} = \frac{K_r}{1 - K_r} \cdot T_{Bcp}.$$

Очевидна простота решения, а выражения для B_{mi} составляются непосредственно с использованием графа переходов и состояний.

В первом случае, используя инженерную методику, нам пришлось составлять и решать систему уравнений, и, несмотря на ее относительную простоту, эта задача отнимает на порядок больше времени, чем наглядный расчет топологическим методом.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы:

1. Топологические методы позволяют быстро получить решение для стационарных состояний относительно простых схем ЭЭС.

2. Инженерная методика определения показателей надежности на основе теории Марковских процессов эффективна при работе со сложными схемами, в ситуациях, когда необходимо установить законы изменения параметров надежности во времени [3].

Список литературы

1. **Половко А.М., Гуров С.В.** Основы теории надежности. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ – Петербург, 2006.
2. **Слышалов В.К., Тышкевич И.В.** Основы расчета надежности систем электроснабжения: учеб. пособие / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». – Иваново, 2007.
3. **Методика** расчета показателей надежности городских электрических сетей петлевого типа / В.К. Слышалов, О.А. Бушуева, Г.В. Чекан, С. Дауди // Вестник ИГЭУ. – 2009. – Вып. 3. – С. 60–65.

Слышалов Владимир Константинович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры электрических систем,
телефон (4932) 26-99-21,
e-mail: zav_es@es.ispu.ru

Чекан Георгий Васильевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант, ассистент кафедры электрических систем,
телефон (4932) 26-99-21,
e-mail: zav_es@es.ispu.ru