

Полумарковский анализ сети электроснабжения метрополитена и ее подсистемы учета

А. В. Давыдова

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
av-davydova-pgups@yandex.ru

Аннотация. В статье поднимается научная задача, затрагивающая вопрос недостаточности вычислительных ресурсов подсистем учета сети электроснабжения метрополитена и нехватка модельного и аналитического аппаратов обработки первичных данных, получаемых с измерительных приборов. Необходимо выявить способ определения направлений модернизации по расширению функциональных возможностей подсистем учета с точки зрения комплексной оценки состояния. Предлагается в рамках концепции Smart grid применить полумарковский анализ. В рамках исследования заданы положения проведения полумарковского анализа и построена графоаналитическая модель процессов функционирования и восстановления. Результаты представлены зависимостями вероятности восстановления от объема средств диагностирования, ошибок первого и второго рода, что дает представление о направлениях модернизации в рамках имеющихся ресурсов.

Ключевые слова: граф; производящая функция; вероятность восстановления; сеть электроснабжения; Smart grid; полумарковский анализ

I. ВВЕДЕНИЕ

Необходимость автоматизации процессов функционирования и саморегулирования являются одними из основных задач построения интеллектуальной энергосистемы, которые реализуются в современной концепции Smart Grid [1–3]. Цифровизация подстанций является неотъемлемой частью внедрения новых концепций, в ходе которой ставятся цели по обеспечению надежности и бесперебойности функционирования систем электроснабжения при применении программных комплексов и современного оборудования по мониторингу и управлению. Исследования процессов функционирования и восстановления сложных систем сводятся к выделению ряда основных методов, таких как дерево отказов, сети Петри, марковский и графовый полумарковский методы. За последние пять лет можно выделить работы в области энергетики, в которых показательно применен непосредственно полумарковский метод [4–6], в которых отмечается, что построение полумарковской модели позволяет проанализировать процесс функционирования систем энергетики с точки зрения показателей надежности, мониторинга, обслуживания, прогнозирования, а также создания на основе результатов моделирования программного обеспечения. Использование полумарковского анализа не может быть ограничен областью применения, поскольку он универсален, что подтверждается в работах [7, 8], и

используется в технических, производственных, энергетических, информационных областях, для комплексного анализа большой системы, сложной по своей структуре, архитектуре, и имеющей систему мониторинга и управления.

Система электроснабжения метрополитена также имеет сложную структуру, а применение данного метода позволит рассмотреть процесс функционирования и восстановления сети электроснабжения совместно с ее подсистемой учета. Данная научная задача ставится как недостаточность вычислительных ресурсов подсистем учета и применительно к сети электроснабжения метрополитена это выражается в нехватке модельного и аналитического аппаратов обработки первичных данных, получаемых с измерительных приборов.

Предлагается применить полумарковский анализ процессов функционирования и восстановления сети электроснабжения метрополитена и ее подсистемы учета.

II. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА И СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДСИСТЕМ УЧЕТА

Система электроснабжения метрополитена, охватывая все структурные подразделения. Почти на каждой станции метрополитена располагается совмещенная тягово-понижительная подстанция (СТП) для питания потребителей разного уровня напряжения. В общем случае СТП имеют распределительное устройство 6 (10) кВ, трансформаторный блок, кремниевые выпрямительные агрегаты, разъединители, аварийная секция шин, аккумуляторные батареи, зарядно-подзарядное устройство. Наиболее ресурсоемким и ответственным комплексом СТП является сеть электроснабжения тяги поездов. В связи с этим на сегодняшний день местами мониторинга являются: ввод, трансформаторы тока и напряжения, кремниевые выпрямительные агрегаты, коммутационное оборудование, параметры которых контролируют следующие подсистемы учета:

- комплексная автоматизированная система диспетчерского управления работой линии метрополитена;
- автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии;

- комплекс регистрации технологических нарушений;
- автоматизированная информационно-измерительная система технического учета энергетических ресурсов и воды.

Данные подсистемы мониторинга представляют собой трехуровневый электротехнический комплекс со средствами сбора, передачи и первичной обработки, и анализа информации в рамках заложенных измерительных и вычислительных ресурсов, формируя временные, векторные диаграммы, осциллограммы. Входными параметрами являются аналоговые и дискретные сигналы для электрических параметров, отражения срабатывания коммутационных аппаратов, защит и перегрузок.

Подсистемы учета хранят сведения о контролируемом оборудовании, временные ряды диагностических параметров за длительный период времени с регистрацией с минимальным промежутком. Этот объем информации на данный момент используется в отчетности с построением зависимостей, диаграмм после или на момент наступления отказа.

Помимо формирования отчетности, в документации указана функция анализа, однако, отсутствуют сведения о методиках и методах такого анализа и последующего использования результата анализа для управления с имеющимися возможностями. В связи с этим и с учетом развивающихся технологий анализа больших данных, можно отметить перспективу работы с подсистемами учета в части повышая эффективность работы подсистемы учета.

III. ПОЛУМАРКОВСКИЙ АНАЛИЗ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА И ЕЕ ПОДСИСТЕМЫ УЧЕТА

Из опыта эксплуатации оборудования сети электроснабжения тяги поездов сформирован перечень состояний, в достаточной степени отражающий процесс функционирования:

- S1 – исправное работоспособное состояние сети электроснабжения;
- S2 – состояние проведения мониторинга, контроля, измерений;
- S3 – состояние параметрического отказа;
- S4 – состояние нарушения условий эксплуатации;
- S5 – состояние неисправности оборудования и коммутационных аппаратов;
- S6 – состояние неисправности кабельной продукции;
- S7-1 – состояние этапа восстановления посредством фиксации и передачи информации системой диспетчеру;

- S7-2 – состояние восстановления посредством удаленных переключений диспетчером;
- S7-3 – состояние восстановления посредством выполнения технических работ работником;
- S2-1 – состояние контрольной проверки системой после восстановления;
- S2-2 – состояние диагностики работником с помощью переносных средств изменений.
- S8 – состояние исправного работоспособного состояния после восстановления.

На рис. 1 представлен граф процесса функционирования и восстановления.

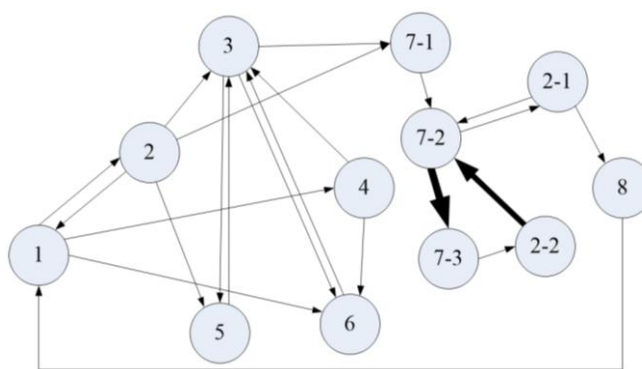


Рис. 1. Граф процесса функционирования сети электроснабжения и подсистемы учета

Каждому переходу из состояния в состояние соответствует переходная (производящая) функция вида:

$$F(x) = \sum_{i=1}^n p_i * x^a,$$

где x – параметр, определяющий объем средств диагностирования ($x = [0, 1]$);

$a = t$ – безразмерная величина, характеризующая количество единичных отрезков времени;

p_i – вероятность i -го перехода.

Производящая функция системы имеет вид:

$$F_{\{S1 \rightarrow S8\}}(x) = \frac{\{(f_1^P + \dots + f_n^P) * (1 - f_1^K) * \dots * (1 - f_m^K)\}}{(1 - f_1^K) * \dots * (1 - f_m^K)},$$

где f_n^P – производящая функция n -го пути обобщенного графа;

f_m^K – производящая функция m -го контура обобщенного графа.

По проведенному расчету производящих функций контуров и путей графа получены зависимости, представленные на рис. 2–5.

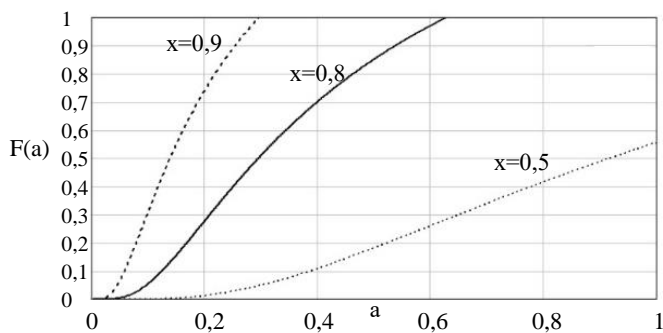


Рис. 2. Зависимость вероятности восстановления от времени при изменении объема средств диагностирования

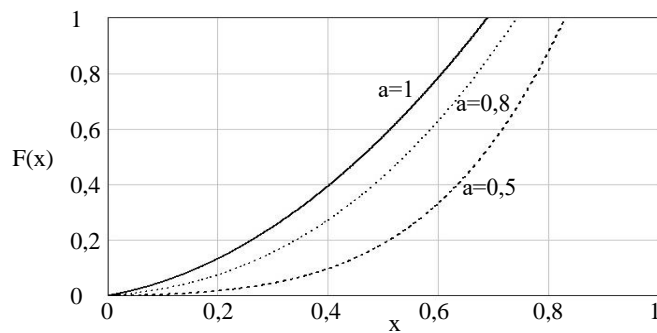


Рис. 4. Зависимость вероятности восстановления от объема средств диагностирования

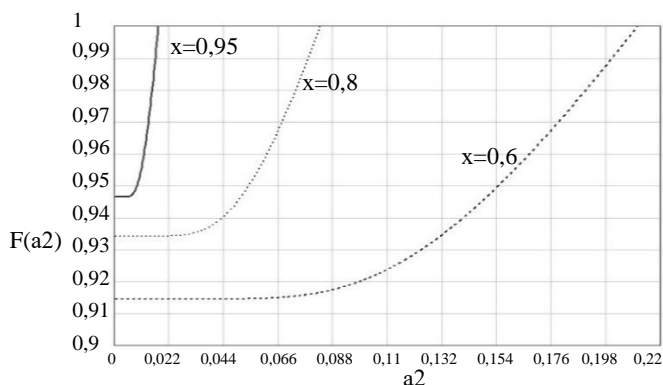


Рис. 3. Зависимость вероятности восстановления от времени мониторинга при изменении объема средств диагностирования

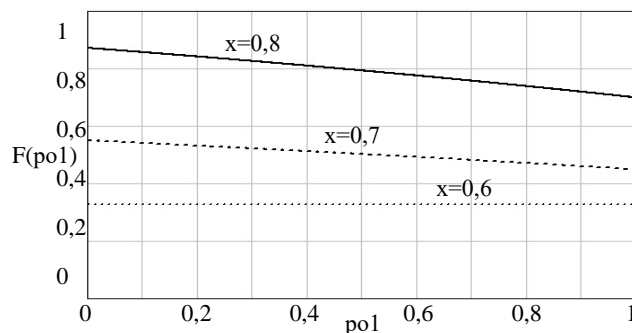


Рис. 5. Зависимость вероятности восстановления от вероятности ошибки первого рода

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен полумарковский анализ процессов функционирования и восстановления сети электроснабжения и ее подсистемы учета. Данный анализ позволяет представить структуру работы сети электроснабжения и подсистемы учета в одном моделировании и дает возможность задания корректировки требований по времени восстановления оборудования или системы в целом, по параметрам метрологического ресурса, по объему средств диагностирования как по отдельности, так и относительно друг друга в зависимости от поставленных задач на модернизацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Emmanuel M., Seah W.K.G., Rayudu R. Communication Architecture for Smart Grid Applications // IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). 2018. Pp. 00746-00751. doi: 10.1109/ISCC.2018.8538472.
- [2] Saleem Y., Crespi N., Rehmani M.H., Copeland R. Internet of Things-Aided Smart Grid: Technologies, Architectures, Applications, Prototypes, and Future Research Directions // IEEE Access, 2019. Vol. 7. Pp. 62962-63003. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2913984.
- [3] Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010. 208 с.
- [4] Обжерин Ю.Е., Сидоров С.М., Никитин М.М. О применении суперпозиции полумарковских процессов к моделированию систем энергетики. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики, Ташкент, 2019. С 269-274.
- [5] Обжерин Ю.Е., Сидоров С.М., Никитин М.М. Применение суперпозиции независимых полумарковских процессов и скрытых марковских моделей к моделированию систем энергетики // Известия РАН. Энергетика, 2020. № 3. С. 69–80. doi: 10.31857/S0002331020030048.
- [6] Обжерин Ю.Е. Полумарковские и скрытые марковские и полумарковские модели систем энергетики // Известия РАН. Энергетика, 2019. № 3. С. 26–32. doi: 10.1134/S0002331019050091.
- [7] Pronevich OB, Shved VE. Algorithm of calculation and forecasting of functional safety indicators of railway power supply systems. Dependability, 2018. Pp. 46-55. doi: 10.21683/1729-2646-2018-18-3-46-55.
- [8] Norman B. The Applicability of Markov Analysis. Methods to Reliability, Maintainability, and Safety. Selected Topics in Assurance Related Technologies (START), 2003. Vol.10(2). Pp. 1-8.