DOI: 10.17117/ns.2015.04.084

Поступила (Received): 15.03.2015

<http://ucom.ru/doc/ns.2015.04.084.pdf>

kgeu_et@yandex.ru

Литвиненко Р.С., Павлов П.П. Методы моделирования процесса функционирования электротехнического комплекса

Litvinenko R.S., Pavlov P.P.
Methods of modeling of operation of complex electrical

В статье рассматривается классификация и принципы построения моделей исследования сложных технических систем, какими являются современные электротехнические комплексы. В связи с тем, что электротехнический комплекс состоит из большого числа различных по своей физической природе элементов, взаимосвязанных для выполнения определенных функций в целях эффективной эксплуатации всего комплекса, задача исследования процесса его функционирования в условиях влияния внешних воздействующих факторов является актуальной научной задачей успешно решаемой методами моделирования. Научная новизна предлагаемого подхода заключается в декомпозиции исследуемого электротехнического комплекса на элементы, входящие в состав определенных функциональных модулей, предназначенных для выполнения установленных задач, и являющихся отдельными подсистемами комплекса. Такой подход позволяет практическое использование исходных данных о элементах и модулях для последующего моделирования процесса функционирования всего электротехнического комплекса. Также в статье рассмотрены основные этапы разработки и использования моделей исследуемого комплекса

Ключевые слова: моделирование, метод, комплекс, этап

Литвиненко Руслан Сергеевич
Кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный энергетический университет
г. Казань, ул. Красносельская, 51

The article deals with the classification and principles of construction of research models of complex technical systems, such as modern electrical systems. Due to the fact that electrical the complex consists of a large number of different physical nature of elements, interconnected to perform specific functions for the effective operation of the whole complex, the study of its functioning in the conditions of influence of external influencing factors is an important scientific task is successfully solved by methods of simulation. Scientific novelty of the proposed approach lies in the decomposition of the studied complex electrical elements included in the defined functional modules designed to perform prescribed tasks, and a separate sub-sector. This approach allows practical use of the baseline data on elements and modules for subsequent modeling of process of functioning of the whole electrotechnical complex. The article also describes the main stages of development and use of models of the studied complex

Key words: modeling, method, complex, phase

Litvinenko Ruslan Sergeevich
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Kazan state power engineering university
Kazan, Krasnoselskaya st., 51

Павлов Павел Павлович

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой

Казанский государственный энергетический университет

г. Казань, ул. Красносельская, 51

Pavlov Pavel Pavlovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Kazan state power engineering university
Kazan, Krasnoselskaya st., 51

Научно-обоснованный анализ эффективности электротехнического комплекса (ЭТК) необходим практически на всех этапах жизненного цикла комплекса и прежде всего важен на стадии проектирования [1]. Главной конечной целью анализа является своевременное получение достоверной информации, необходимой для выработки и реализации обоснованных решений в области обеспечения качества функционирования ЭТК.

В основе научного анализа эффективности ЭТК лежат различные модели. С их помощью осуществляется обоснование и оценка показателей эффективности, решаются задачи оптимизации, синтеза, выработки и обоснования решений. От обеспечения возможности достаточно точно и оперативно решать указанные задачи непосредственно зависит эффективность разрабатываемого ЭТК.

В основе методов моделирования лежат замена технического объекта и реальных процессов, проходящих в нем, моделью, реализация которой может осуществляться путем математического, физического и физико-математического моделирования.

Моделирование позволяет быстро и эффективно оценить поведение ЭТК на всех стадиях от проектирования до применения по назначению, а также сократить объем, продолжительность и стоимость разработки и испытаний по сравнению с натурными исследованиями.

Моделирование целесообразно, когда у модели отсутствуют те признаки оригинала, которые препятствуют его исследованию, или имеются отличные от оригинала параметры, способствующие фиксации или изучению свойств модели. Моделирование применяется также в случаях, когда необходимо изучить поведение технического объекта в условиях, которые невозможно воспроизвести при натурном эксперименте (космическое пространство, аварийные и экстремальные ситуации, геофизические и метеорологические условия, различные виды целей и т.д.) или когда в этих условиях высока вероятность разрушения объекта.

Моделирование предполагает наличие следующих укрупненных этапов [2]:

- формулирование цели моделирования;
- разработка концептуальной модели;
- подготовка исходных данных;
- разработка математической модели;
- выбор метода математического моделирования;
- выбор средств моделирования;
- разработка программной модели;
- моделирование на вычислительных средствах;
- проверка адекватности и корректировка модели;

– анализ результатов моделирования.

Объект моделирования (комплекс) имеет некоторое множество параметров S_0 и характеризуется определенными свойствами, количественной мерой которых является множество характеристик Y_0 . Свойства проявляются под влиянием внешних воздействий X .

Характеристики ЭТК находятся в функциональной зависимости от его параметров. Очевидно, что каждая характеристика объекта $y_0 \in Y_0$ определяется в основном или полностью ограниченным подмножеством параметров $\{S_{0k}\} \subset S_0$. Остальные параметры не влияют или практически не влияют на значение данной характеристики образца S .

Модель также характеризуется множествами параметров S_m и характеристик Y_m . Оригинал и модель сходны по одним параметрам и различны по другим. Замещение одного объекта другим правомерно, если интересующие характеристики оригинала и модели определяются однотипными подмножествами параметров и связаны одинаковыми зависимостями с этими параметрами. При одинаковых внешних воздействиях $\{x_{on}\}$ на определенном интервале T для оригинала и модели характерны зависимости [3]:

$$y_{ok} = f(\{S_{oi}\}, \{x_{on}\}, T);$$

$$y_{mn} = f(\{S_{mi}\}, \{x_{mn}\}, T_m)$$

где y_{mn} – n -я характеристика модели, $y_{mn} \in Y_m$;

x_{mn} – внешнее воздействие на модель, $x_{mn} \in X$;

T_m – модельное время, т.е., время, в течение которого на модель оказываются внешние воздействия $x_{mn} \in X$ и измеряются характеристики $y_{mn} \in Y_m$.

При этом $s_{oi} = \varphi(S_{mi})$, $x_{on} = \omega(x_{mn})$, $T = mT_m$, (где m -масштабный коэффициент) на всем интервале $[0, T_m]$ или в отдельные периоды времени.

Тогда с некоторым приближением можно сделать вывод о том, что характеристики оригинала связаны с характеристиками модели определенными зависимостями $y_{ok} = \phi(y_{mk})$. В этом случае множество характеристик модели $Y_{mk} = \{y_{mk}\}$ является отображением множества интересующих характеристик оригинала $Y_{ok} = \{y_{ok}\}$, т.е. $\phi: Y_{ok} \rightarrow y_{mk}$, т.е. $\phi: Y_{ok} \rightarrow Y_{mk}$.

Структура и содержание модели ЭТК во многом зависят от целей и методов моделирования, например представленная на рис.1.

Обобщенная модель функционирования ЭТК состоит из [4]:

моделей, характеризующих внешние воздействия, включающих:

– модель состояний внешней среды (например, климатические, геофизические и т.д. воздействия);

– модель внешних управляющих факторов (например телеуправление, радиокоманды и т.д.);

моделей, характеризующих сам ЭТК, включающих:

– модель внутренних воздействующих факторов (например вибрации от работы механизмов, локальные повышения температуры и т.д.);

– модель внутренних управляющих факторов (например команды программных и временных механизмов, снятие блокировок и т.д.);

модель таймера времени, предназначенного для создания временных меток и "сжатия или растяжения" процессов.

Рис. 1. Обобщенная модель функционирования электротехнического комплекса

Все модели можно подразделить на две группы: материальные (физические) и абстрактные (математические).

Обобщенная схема процесса разработки и использования моделей ЭТК приведена на рис. 2.

Содержание этапов заключается в следующем:

Этап 1. Построение содержательного описания модели, в которое вносят всю информацию об ЭТК. Если ЭТК является вновь разрабатываемым изделием, то в содержательное описание включают данные из ТЗ, условия функционирования изделия в целом и его элементов, данные о структуре изделия.

Этап 2. Построение формализованного описания, состоящее в отборе из содержательного описания тех независимых переменных параметров, которые необходимы для построения модели и расчетов по ней. Эти параметры должны описывать режимы работы ЭТК и процессы, протекающие в нем при внешних воздействиях.

Этап 3. Построение модели путем нахождения ее блочной структуры. Каждый блок описывается уравнениями своего функционирования, а взаимодействие между блоками – соответствующими параметрами.

Рис. 2. Обобщенная схема процесса математического моделирования

Этап 4. Обработка модели осуществляется путем программирования математической модели на компьютере или настройкой физической модели.

Этап 5. Эксперименты на модели реализуются при математическом моделировании путем соответствующих расчетов на компьютере.

Этап 6. Проверка адекватности модели включает накопление результатов моделирования и их обработку с сопоставительным анализом точности полученных результатов моделирования с результатами натурного эксперимента. Критерии адекватности определяются на основе теории подобия.

Этап 7. Использование результатов моделирования производится, исходя из поставленных целей моделирования.

В процессе разработки модели условно выделяются концептуальный, математический и программный этапы.

Концептуальная (содержательная) модель – это абстрактная модель, определяющая состав и структуру ЭТК S_0 , свойства элементов и причинно-следственные связи, присущие исследуемому комплексу и существенные для достижения цели моделирования. Основная проблема при создании модели заключается в нахождении компромисса между простотой модели и ее адекватностью с исследуемой системой.

Следующим шагом при создании концептуальной модели является выбор уровня детализации модели. Уровни детализации называют стратами, а процесс выделения уровней – стратификацией. Выбор страт зависит от целей моделирования и степени предварительного знания свойств элементов. При построении ориентированной и стратифицированной концептуальной модели в нее должны войти все те параметры ЭТК S_{0k} , и в первую очередь, параметры $\{S_{0i}\}$, допускающие варьирование в процессе моделирования, которые обеспечивают определение интересующих характеристик Y_{0k} при конкретных внешних воздействиях $\{x_{on}\}$ на заданном временном интервале T функционирования ЭТК.

Последующий шаг создания концептуальной модели – ее локализация, которая осуществляется путем представления внешней среды в виде генераторов внешних воздействий, включаемых в состав модели в качестве элементов.

Завершается построение структуры модели указанием связей между элементами. Связи могут быть подразделены на вещественные и информационные. Вещественные связи отражают возможные пути перемещения продукта преобразования от одного элемента к другому. Информационные связи обеспечивают передачу между элементами управляющих воздействий и информации о состоянии.

Основу алгоритмов математического обеспечения моделей составляют расчетные формулы методов, используемых при постановке экспериментов на модели и обработке всех полученных результатов. Поэтому на этапе создания моделей сложных систем стремятся выбрать метод математического моделирования, удовлетворяющий следующим требованиям:

- расчет оценок выходных показателей должен осуществляться с использованием достаточно простых алгоритмов обработки;
- определение необходимого объема моделирования из условий достижения заданной точности оценок выходных показателей, должно происходить на основании простых и в то же время достаточно точных соотношений;
- методика организации экспериментов на модели должна быть по возможности простой и реализуемой на средствах используемой вычислительной техники.

Разработанная математическая модель функционирования ЭТК может быть исследована различными методами – аналитическими или имитационными. Применение аналитических методов для сложных технических систем связано с большей, по сравнению с другими методами, степенью упрощения реальности и абстрагирования. Поэтому, аналитические методы исследования используются обычно для первоначальной грубой оценки характеристик всего ЭТК или отдельных его модулей, а также на ранних стадиях испытаний комплекса, когда недостаточно информации для построения более точной модели.

Имитационное моделирование является наиболее универсальным методом исследования технических систем и количественной оценки характеристик их функционирования. При имитационном моделировании динамические процессы комплекса-оригинала подменяются процессами, имитируемыми в абстрактной модели, но с соблюдением таких же соотношений длительностей и временных последовательностей отдельных операций. В процессе имитации, как при эксперименте с оригиналом, фиксируют определенные события и состояния или измеряют выходные воздействия, по которым вычисляют характеристики качества функционирования ЭТК.

Методы имитационного моделирования дискретных и непрерывных технических систем с детерминированными или случайными количественными параметрами ЭТК и внешних воздействий, разделяются на детерминированные и статистические. Детерминированное моделирование может применяться при изучении ЭТК с известными параметрами при фиксированных внешних воздействиях. При статистическом моделировании для получения достоверных вероятностных характеристик процессов функционирования ЭТК требуется их многократное воспроизведение с различными конкретными значениями случайных факторов и статистической обработкой результатов измерений. В основу статистического моделирования положен известный метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) [5].

Основные преимущества метода состоят в простоте процедур постановки и обработки экспериментов на модели, высокой помехозащищенности к случайным ошибкам, возможным при проведении отдельных опытов на модели, а также в независимости скорости убывания погрешности от размерности вектора, а недостатком является большое число воспроизведений процесса моделирования для обеспечения требуемой точности оценок и минимизации дисперсии. Это является следствием того, что при получении оценок не используются априорные сведения о свойствах интегрируемой функции и о виде вероятностной меры.

Более совершенными и свободными от указанных недостатков являются его модификации: метод выделения главной части, метод существенной выборки, метод коррелированных процессов.

При разработке моделей важно организовать работу так, чтобы точность описания процессов в модулях (элементах) обеспечивала требуемую точность расчета выходных показателей эффективности всего комплекса.

Список используемых источников:

1. ГОСТ 18311-80. Изделия электротехнические. Термины и определения основных понятий (с Изменениями N 1, 2). М.: Издательство стандартов, 1982. 18 с.
2. Литвиненко Р.С., Хаертдинова А.Р., Нурмухаметов Р.Р. Ускоренное моделирование отказов высоконадежных технических систем // Научный альманах. Тамбов: Консалтинговая компания Юком, 2014. №1(1). С. 215-220.
3. Литвиненко Р.С., Афросин А.С., Гадиев А.А. Анализ надежности электротехнического комплекса с использованием имитационной модели // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. С.-П.: Стратегия будущего, 2015. №1-11. С. 71-78.
4. Литвиненко Р.С., Павлов П.П., Гуреев В.М., Мисбахов Р.Ш. Оценка технического уровня сложных систем на этапе разработки // Вестник машиностроения. Машиностроение. 2015. №6. С. 52-56.

5. Pavlov P.P., Litvinenko R.S., Mubarakhin M.N., Yushin I.O., Nigmatullin V.M. A technique for selecting a rational variant of a multifunctional aircraft system // *Russian aeronautics. Allerton press*. 2008. №2(51). P. 198-204.

References:

1. GOST 18311-80. Products electrical. Terms and definitions of basic concepts (with Amendments No. 1, 2). M.: Publishing house of standards, 1982. 18 p.
2. Litvinenko R.S., Haertdinova A.R., Nurmukhametov R.R. Accelerated simulation of failure of highly reliable technical systems. *Scientific almanac. Tambov: Consulting company Ucom*, 2014. No. 1(1). P. 215-220.
3. Litvinenko R.S., Efrosin A.S., Gadiyev A.A. Analysis of reliability of electrotechnical complex with the use of a simulation model. *Fundamental and applied studies in the modern world. S.-P.: Strategy of the future*, 2015. №1-11. P. 71-78.
4. Litvinenko R.S., Pavlov P.P., Gureev V.M., Misbahul R.S. Evaluation of the technical level of complex systems at the stage of development. *Vestnik mashinostroeniya. Engineering*. 2015. № 6. P. 52-56.
5. Pavlov P.P., Litvinenko R.S., Mubarakhin M.N., Yushin I.O., Nigmatullin V.M. A technique for selecting a rational variant of a multifunctional aircraft system. *Russian aeronautics. Allerton press*. 2008. №2(51). P. 198-204.

© 2015, Литвиненко Р.С., Павлов П.П.
Методы моделирования процесса
функционирования электротехнического
комплекса

© 2015, Litvinenko R.S., Pavlov P.P.
Methods of modeling of operation of complex
electrical