



УДК.621.3.011.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛНЫХ ИСХОДНЫХ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С ЦЕЛЮ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Н.С. Савёлов, savelovn@mail.ru, В.В. Павлов, v_pavlov93@mail.ru

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Одной из наиболее изученных, компактных и информативных форм математических моделей электрических цепей являются уравнения состояния. Однако автоматизированное формирование этих уравнений является достаточно сложной вычислительной проблемой. Новый эффективный подход к формированию уравнений состояния основывается на использовании расширенной исходной системы уравнений – полной системы. Расширенная система формируется на основе базовой системы с применением операций дифференцирования и интегрирования. Использование расширенной системы значительно упрощает переформирование уравнений после изменений электрической цепи. Однако в случае нарушений законов коммутации применение соответствующих алгоритмов затруднительно. Перспективным направлением дальнейшего совершенствования алгоритмов является переход к обобщенным функциям, которые могут существенно упростить определение новых начальных условий при выявлении таких нарушений.

Ключевые слова: электрические цепи, математические модели, уравнения состояния, законы коммутации, обобщенные функции.

USING THE COMPLETE INITIAL SYSTEMS OF EQUATIONS FOR THE FORMATION OF MATHEMATICAL MODELS OF ELECTRICAL CIRCUITS IN ORDER TO CONTROL AND DIAGNOSTICS

N.S. Savelov, V.V. Pavlov

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novochoerkassk

One of the most studied, compact and informative forms of mathematical models of electrical circuits are the equations of state. However, the automated formation of these equations is a fairly complex computer problem. A new effective approach to the formation of state equations is based on the use of an extended initial system of equations - a complete system. The extended system is formed on the basis of the base system using differentiation and integration operations. Using of the extended system greatly simplifies the reformation of the equations after changes in the electrical circuit. However, when the switching laws are violated, the application of these algorithms is difficult. A promising direction for further improvement of algorithms is the transition to generalized functions that can significantly simplify the definition of new initial conditions in the detection of such violations.

Key words: electric circuits, mathematical models, equations of state, switching laws, generalized functions.

Уравнения состояния является эффективной, полезной, глубоко изученной, компактной и широко используемой формой модели динамических объектов различной физической природы. Эти уравнения активно применяются в области анализа и синтеза электрических цепей.

В наиболее общей форме уравнения состояния имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= F(x, t), \\ y &= \Phi(x, t), \end{aligned} \right\}$$

где x – столбец переменных состояния, t – время, y – столбец выходных величин, $F(x, t)$, $\Phi(x, t)$ – векторные функции векторного переменного.



В теории электрических цепей в качестве переменных состояния часто используют напряжения некоторых конденсаторов и токи некоторых катушек индуктивности [1]. В столбец y включают те токи и напряжения, за исключением переменных состояния, которые необходимы пользователю.

Формирование уравнений (1) для нелинейных электрических цепей общего вида является весьма сложной проблемой, поэтому часто используют линеаризацию цепей. Для линеаризованной цепи уравнения состояния, как правило, в исходном виде [1] записываются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= A * x + B_0 * u + B_1 * \frac{du}{dt} + \dots + B_p * \frac{d^p u}{dt^p}, \\ y &= C * x + D_0 * u + D_1 * \frac{du}{dt} + \dots + D_p * \frac{d^p u}{dt^p}, \end{aligned} \right\}$$

где A, B_i, C, D_j – вещественные матрицы, u – столбец независимых переменных, элементами которого являются напряжения независимых источников напряжения и токи независимых источников тока, p – некоторое целое число.

Традиционно уравнения состояния формируют на основе исходной системы уравнений вида:

$$G * v = 0,$$

где G – вещественная матрица, v – столбец токов и напряжений.

Система (3) может формироваться на основе различных исходных соотношений, характеризующих электрическую цепь, в частности, на основе законов Кирхгофа.

Обычно для формирования уравнений (2) осуществляют преобразование системы (3), причем в качестве основы алгоритма преобразований используют метод Жордана (Гаусса-Жордана) [1].

Однако процесс преобразования по указанному методу, в общем случае, необходимо прерывать для получения дополнительных уравнений, выявления и исключения так называемых зависимых переменных состояния. Еще одним существенным недостатком традиционного подхода является невозможность коррекции уравнений (2) даже после незначительных изменений в электрической цепи, что требует выполнения повторных преобразований в полном объеме.

Существенные преимущества имеет новый подход к формированию уравнений состояния [2], который предполагает использование в качестве исходных систем уравнений, называемых полными, и применение в качестве основного алгоритма новой модификации метода исключения Гаусса для решения систем линейных алгебраических уравнений [2, 3].

Полные системы уравнений не требуют формирования дополнительных уравнений. Это существенно упрощает алгоритм формирования и, благодаря особенностям указанной модификации, резко сокращает вычислительные затраты на переформирование уравнений (2).

В электрических цепях возможны такие изменения, которые приводят к нарушениям законов коммутации. Принципиально эта проблема может быть решена при введении в цепь дополнительных резисторов, однако это может привести к резкому увеличению жесткости системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Поэтому актуальной является проблема переформирования уравнений состояния в условиях нарушения указанных законов.



В качестве решения проблемы формирования и переформирования уравнений состояния в условиях нарушений законов коммутации предлагается объединение подходов, предполагающих использование полных исходных систем уравнений, новой модификации метода исключений Гаусса и аппарата обобщенных функций [4].

Список цитируемой литературы

1. Чуа Л.О., Лин П.-М. Машинный анализ электронных схем: Алгоритмы и вычислительные методы. М.: Энергия. 1980. – 640 с.
2. Савёлов Н.С. Формирование уравнений состояния при изменениях в электрических цепях // Изв. вузов. Электромеханика. 1987. – №12. – С. 13-18.
3. Савёлов Н.С. Расчет переходных процессов в предварительно упрощенных электрических цепях // Изв. вузов. Электромеханика. 1985. – №4. – С. 85-92.
4. Кеч В., Теодореску П. Введение в теорию обобщенных функций с приложениями в технике. М.: Мир. 1978. – 520 с.

© Н.С. Савёлов, В.В. Павлов, 2019