

Система (2) представляет собой систему нелинейных неоднородных дифференциальных уравнений в частных производных с постоянными коэффициентами. Численное решение данной системы на равномерной прямоугольной сетке с использованием абсолютно сходящейся неявной разностной схемы [0] позволяет найти распределение температуры по толщине стены (вдоль оси Ox , см. рис. 2а) и его изменение во времени (см. рис. 2б). Численное решение было реализовано в среде Matlab [2].

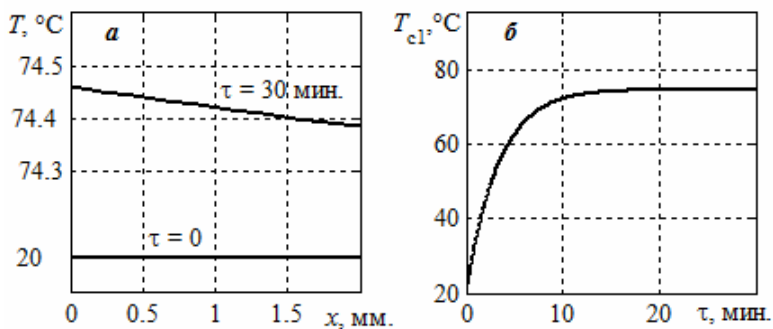


Рисунок 2 – Результаты численного моделирования изменения температуры стены толщиной 2 мм из нержавеющей стали

Как видно из рис. 2б, динамика нагрева стены при ступенчатом изменении температуры среды 1 приближенно соответствует аperiodическому звену.

Список использованных источников

1. Цветков Ф.Ф. Теплообмен: учебник для вузов / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 562 с., ил.
2. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.: ил.

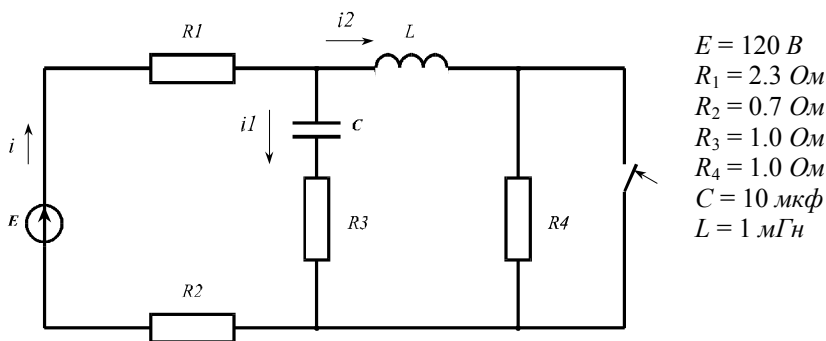
Станишевский И.В., к.ф.-м.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь
ОПРЕДЕЛЕНИЕ RLC-ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ
СИМПЛЕКС-МЕТОДОМ НЕЛДЕРА-МИДА

При решении многих научных проблем, в том числе технических, приходится сталкиваться с решением обратной задачи: нахождением коэффициентов и/или параметров уравнений точной или приближенной модели, описывающих реальную систему, по известным (например, экспериментально измеренным) значениям величин моделирующих

функций. Примером может быть задача определения неизвестных величин (номиналов компонент) сопротивлений, емкостей и индуктивностей электрических цепей, принципиальная схема которых известна, по известным законам изменения напряжений и токов в некоторых точках схемы, возникающих при коммутации источников питания. Проблема может быть сформулирована и в следующем виде: имеется электрическая цепь, принципиальная схема которой известна. Необходимо определить номиналы RCL -элементов и напряжение источника E , значения которых не могут быть измерены, но могут быть измерены напряжения и токи в определенных точках цепи. Во многих случаях для её решения необходима именно коммутация цепей схемы, поскольку возникающие при переходных процессах изменения токов и напряжений имеют специфические немонотонности, параметры которых определяются номиналами элементов схемы.

Примером такой проблемы может задача из методического пособия «Основы научных исследований и моделирование» кафедры вычислительной техники БГАТУ, изданного в 2007 году. Схема цепи изображена на рисунке, представленном ниже.

Закон изменения токов $i_1(t)$ и $i_2(t)$ после замыкания ключа, с учетом того, что $i_1(0) = 0$, $i_2(0) = E/(R_1 + R_2 + R_4)$, может быть найден из численного решения системы дифференциальных уравнений (СДУ), записанных для этих токов:



$E = 120 \text{ В}$
 $R_1 = 2.3 \text{ Ом}$
 $R_2 = 0.7 \text{ Ом}$
 $R_3 = 1.0 \text{ Ом}$
 $R_4 = 1.0 \text{ Ом}$
 $C = 10 \text{ мкФ}$
 $L = 1 \text{ мГн}$

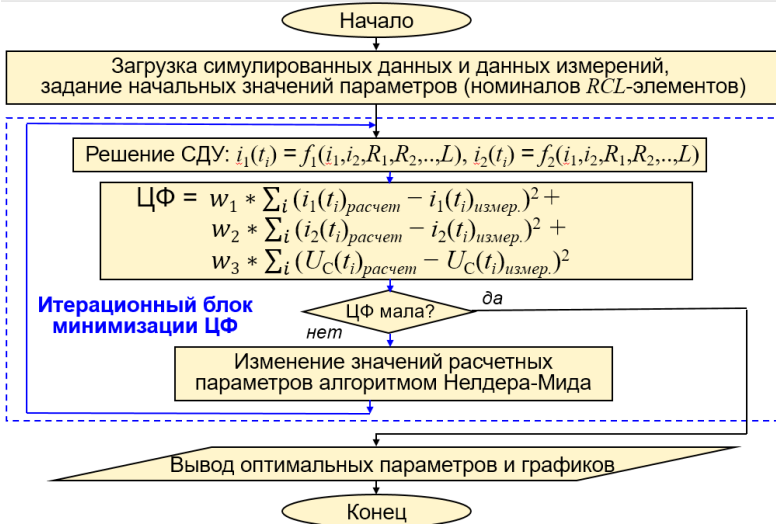
$$di_1/dt = -((R_1 + R_2)(di_2/dt) + i_1/C) / (R_1 + R_2 + R_3)$$

$$di_2/dt = (E - (R_1 + R_2)(i_1 + i_2)) / L$$

Зная $i_1(t)$, можно определить закон изменения напряжения $U_C(t)$ на конденсаторе C . Значения $i_1(t)$, $i_2(t)$, и $U_C(t)$ можно измерить также экспериментально.

Для определения шести номиналов RCL -элементов (сопротивления R_1 и R_2 определяются только как сумма $R_1 + R_2$) был применен симплекс-метод оптимизации Нелдера-Мида [1]. Выбор безградиентного метода был вызван как трудностями применения других подходов и методов, так и интересом возможности его применения для данной частной задачи. Целевая функция (ЦФ) для минимизации была выбрана в виде суммы норм разности «измеренных» и оптимизируемых (расчетных) значений токов $i_1(t)$, $i_2(t)$ и напряжения $U_C(t)$ с весовыми коэффициентами в узловых временных точках. «Измеренные» значения предварительно были синтезированы из численных решений СДУ при использовании «истинных» значений номиналов элементов (приведены на рисунке выше). Блок-схема алгоритма представлена на рисунке, изображенном ниже.

Расчеты проводились с помощью программ, написанных на языке высокого уровня *Scilab* (свободно распространяемом аналоге *Matlab*). Минимизация ЦФ осуществлялась с помощью процедур: 1) *neldermead_new*, встроенной в пакет *Scilab*, методом Бокса с ограничением диапазона изменений значений определяемых параметров, и 2) *anms* [2], адаптированной с языка *Matlab* для *Scilab*. Процедура *anms* (adaptive nelder-mead simplex) представляла собой вариант алгоритма Нелдера-Мида с адаптацией (изменением) значений коэффициентов α (отражение), β (расширение), γ (сжатие) и δ (сужение) под количество искоемых параметров.



Использование *anms* ускорило время поиска решения приблизительно в 2 раза, что, скорее всего, связано как с отсутствием ограничений на изменение варьируемых параметров, так и с более оптимальными значениями

ми коэффициентов. Времена определения «истинных» значений E , R_1+R_2 , R_3 , R_4 , C и L при начальных значениях 100 В, 1.0 Ом, 3.0 Ом, 3.0 Ом, 100 мкФ, 10 мГн, соответственно, при использовании подпрограммы решения СДУ типа *stiff* на компьютере класса *Intel i3* с частотой процессора около 3 ГГц типично составляли около 120–160 с. Погрешность определения параметров составляла около $1.0E-6$, что значило, что задача была решена точно. Она увеличивалась до $1.0E-4$ в том случае, когда данные «измерений» имели 4 значащих цифры. Такие расчеты имитировали случай измерений токов и напряжений реальными серийными приборами. Следует особо отметить, что для надежного нахождения точных значений элементов оказалось необходимым, чтобы ЦФ учитывала данные всех трех «измерений» с индивидуальными весовыми коэффициентами (например, единичными) w_i для каждого из них: токов i_1 , i_2 и напряжения U_C на конденсаторе. При использовании только одного «измерения», например, U_C , ЦФ, как правило, достигала только локального минимума, при котором значения искомых параметров, как правило, весьма значительно отличались от «истинных». В случаях, когда начальные значения параметров выбирались значительно отличающимися от «истинных», время расчетов ожидаемо увеличивалось. Кроме того, приходилось производить новый поиск с начальными значениями параметров, определенными в предыдущем расчете.

Список использованных источников

1. Nelder, J.A. A simplex method for function minimization / J.A. Nelder, R. Mead // *Comput. J.* – 1965. – V 7. – С. 308–313.
2. Gao, F. Implementing the Nelder-Mead simplex algorithm with adaptive parameters / F. Gao, L. Han // *Comput. Optim. Appl.* – 2012. – V 51. – P. 259–277.

Тарновский В.Ю., Глобаж Д.В., Якубовская Е.С.
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь
ПУТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТВОРОГОИЗГОТОВЛЕНИЯ

В современном производстве молочной продукции актуальным сегодня являются установки и линии, обеспечивающие минимальные энергетические затраты. Добиться выполнения этого требования невозможно без эффективной системы автоматизации линии или установки. Определим возможные пути энергосбережения при автоматизации управления процессом творогоизготовления.