ЭНЕРГЕТИКА. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
*****
POWER ENGINEERING. AUTOMATION SYSTEMS

УДК 620

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ

MODELING OF ELECTRICAL CIRCUITS TAKING INTO ACCOUNT THE NONLINEAR CHARACTERISTICS OF THE ELEMENTS

Андрианов Дмитрий Петрович
кандидат технических наук,
доцент,
доцент кафедры электротехники и электроэнергетики,
Владимирский государственный университет
имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
andrianov@vlsu.ru

Соколов Владислав Александрович
студент,
Владимирский государственный университет
имени А.Г. и Н.Г. Столетовых
sokolov-vlad23@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается методика моделирования электрических цепей переменного тока с нелинейными характеристиками элементов. Влияние нелинейности учитывается за счет сплайновой интерполяции вольтамперной характеристики элемента. Проводится гармонический анализ результатов моделирования линейной и нелинейной моделей.

Ключевые слова: вольтамперная характеристика, сплайновая интерполяция, гармонический анализ.

Andrianov Dmitry Petrovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Department of Electrical Engineering
and Electric Power Engineering
Vladimir State University
named after A.G. and N.G. Stoletov
andrianov@vlsu.ru

Sokolov Vladislav Aleksandrovich
Student,
Vladimir State University
named after A.G. and N.G. Stoletov
sokolov-vlad23@yandex.ru

Annotation. The paper considers a technique for modeling alternating current electric circuits with nonlinear characteristics of elements. The influence of nonlinearity is taken into account by spline interpolation of the voltage characteristic of the element. A harmonic analysis of the modeling results of linear and nonlinear models is carried out.

Keywords: voltage characteristic, spline interpolation, harmonic analysis.

Исследовалась электрическая цепь переменного тока, характерная для систем электроснабжения и содержащая в качестве нагрузки сопротивления, индуктивности и емкости (рис. 1). Режим работы цепи – периодические синусоидальные колебания напряжения номиналом 400 В на входе и частотой 50 Гц.

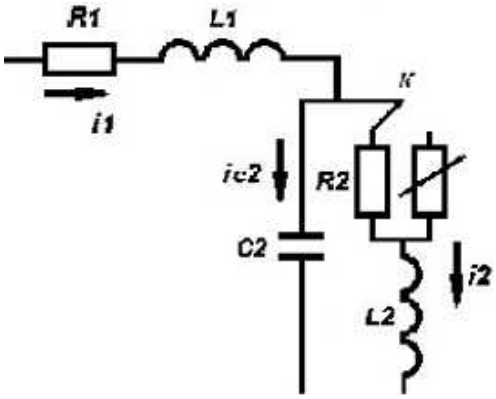

Рисунок 1 – Схема замещения исследуемой электрической цепи

Моделирование проводилось в математическом пакете MathCad [1].

Система уравнений, описывающих динамику процесса, включает в себя уравнения баланса падений напряжения в контурах и баланса токов в узле. В качестве расчетного метода брался метод прогноза и коррекции Рунге-Кутта 4-го порядка с переменным шагом.

Определялся характер изменения токов в ветвях цепи при наличии линейного или нелинейного сопротивления нагрузки, момент подключения соответствующего сопротивления учитывался специальной логической функцией. Момент времени переключения ключа К выбирался исходя из обеспечения плавности переходного процесса, т.е. отсутствия скачка в рассматриваемых параметрах.

$$FU(t) := U\sin(100\cdot\pi\cdot t + \varphi)$$

$$RRR(t) := \begin{cases} Rn & \text{if } t < Twkl \\ Rn & \text{if } t > Twkl + \Delta T \\ fitsR(FU(t)) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$DD(t,x) := \begin{pmatrix} \frac{-R1}{L1} & 0 & \frac{-1}{L1} \\ 0 & \frac{-|RRR(t)|}{L2} & \frac{1}{L2} \\ \frac{1}{C2} & -\frac{1}{C2} & 0 \end{pmatrix}\cdot x + \begin{pmatrix} \frac{U}{L1}\sin(100\cdot\pi\cdot t + \varphi) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$ZZ := Rkadapt(x, 0, 0.64, 1600, DD) \qquad n := 0..1599$$

Вольтамперная характеристика нелинейного сопротивления в расчетах учитывалась с помощью сплайной интерполяции кубическим сплайном (рис. 2).

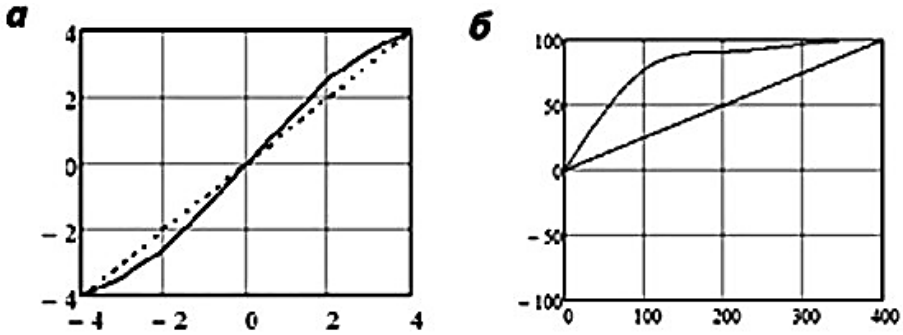

Рисунок 2 – ВАХ нелинейного элемента (а) и его сплайновая интерполяция (б)

В расчетных уравнениях нелинейное сопротивление описывалось как функция напряжения через сплайн, представленный как функция времени, учитывая синусоидальное изменение напряжения (рис. 3).

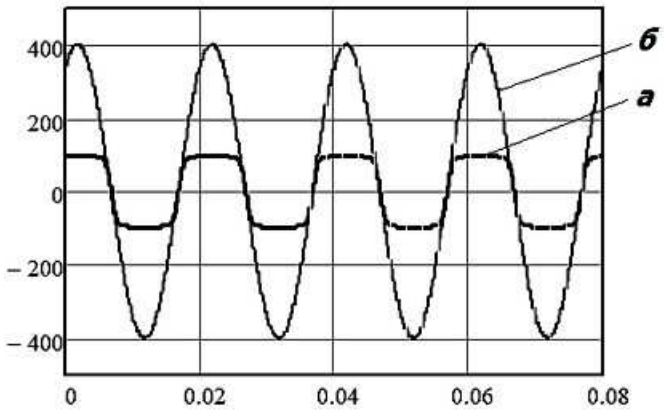

Рисунок 3 – Изменение сопротивления (а) как функция напряжения (б)

Расчеты показали, что нелинейность вольтамперной характеристики сопротивления вызывает отклонения от синусоидальности в осциллограмме силы тока (рис. 4).

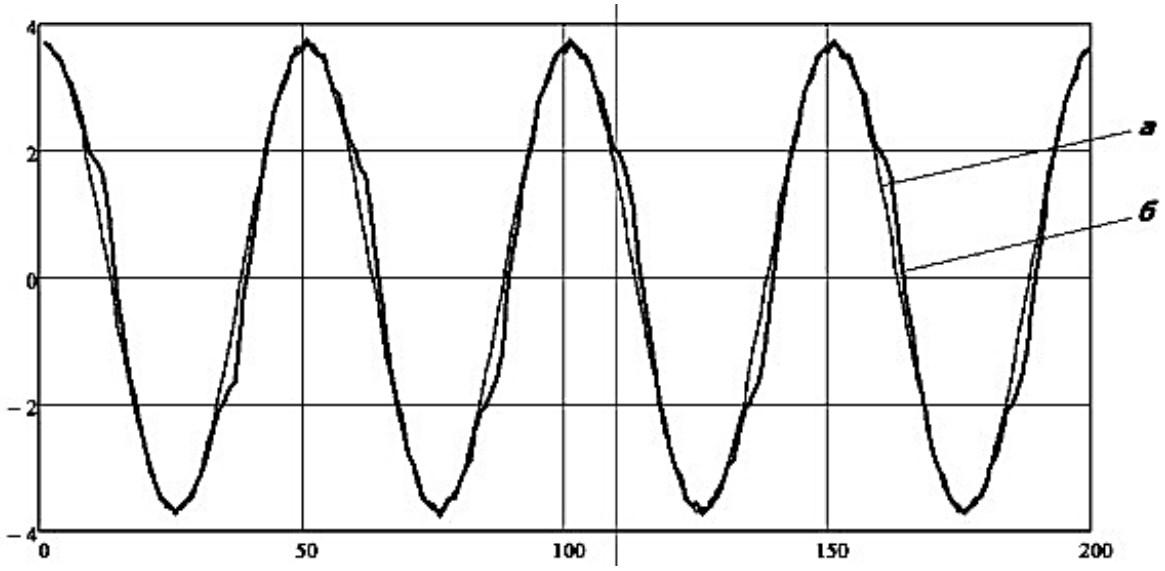

Рисунок 4 – Изменение силы тока для линейной (а) и нелинейной (б) моделей

Гармонический анализ результатов расчета показал различия в колебаниях при сравнении линейной и нелинейной моделей (рис. 5).

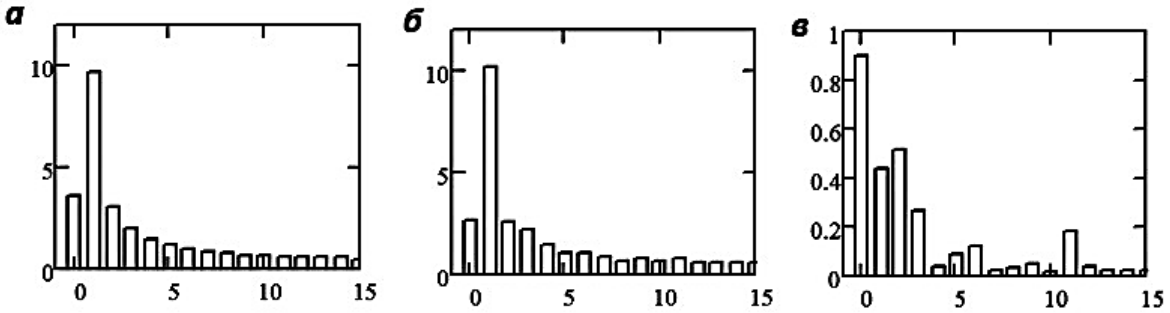

Рисунок 5 – Спектры частот линейной модели (а), нелинейной модели (б) и разница между спектрами частот (в)

Список литературы:

1. Дьяконов В. MathCad 2001. – СПб. : Питер. – 624 с.

List of references:

1. Djakonov V. MathCad 2001. – SPb. : Piter. – 624 p.