УДК 621.314

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА НА ХАРАКТЕР ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЛИНИЯХ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Магистрант **Ионова В.И.**
Научный руководитель канд. техн. наук, доц. **Андрианов Д.П.**
Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир

***Аннотация**. В статье рассматривается моделирование переходных процессов в линиях системы электроснабжения с учетом влияния трансформатора. Показано существенное влияние коэффициента трансформации на характер колебаний тока-напряжения. Моделирование проводилось численными методами в математическом пакете MathCad. Предложенная методика позволяет выбирать оптимальное сочетание параметров, обеспечивающих требуемое качество электроэнергии.*

***Ключевые слова:** Трансформатор, электрическая нагрузка, переходный процесс, коэффициент трансформации, схема замещения.*

Трансформаторы, как устройства, преобразующие уровень напряжения в электрических цепях, нашли самое широкое применение. Однако точное описание работы трансформатора как динамического объекта представляет собой определенные трудности, связанные с представлением электромагнитных полей с учетом конструктивных особенностей самого устройства. В зависимости от степени детализации свойств существует несколько вариантов схем замещения трансформаторов [1].

Искажение колебаний напряжения-тока вследствие магнитного гистерезиса обмоток трансформатора с передаточным отношением равным единице было промоделировано в [2].

Интерес представляет расчет переходных процессов в линиях электроснабжения с учетом электрической нагрузки потребителя и коэффициентом трансформации, соответствующим уровням напряжения систем электроснабжения.

Цель работы: повышение качества электроэнергии в электрических сетях за счет оптимального подбора параметров элементов систем электроснабжения.

Типовая схема замещения линии системы электроснабжения включает в себя: источник ЭДС, активные и индуктивные сопротивления питающей ветви и нагрузки, понижающий трансформатор, а также емкость компенсатора реактивной мощности (рис. 1).

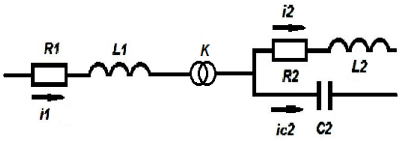

Рис. 1. Схема замещения линии системы электроснабжения

Система дифференциальных уравнений, соответствующая схеме замещения на рис. 1, состоит из уравнений, описывающих ток на входе i_1, ток нагрузки i_2 и напряжение на ветви емкости U_C. Влияние трансформатора учитывается введением коэффициента трансформации K при условии соблюдения передачи электрической мощности. Для получения системы уравнений в форме Коши необходимо в левой части выделить первые производные искомых параметров.

В сравнении с моделью без учета трансформатора [3] коэффициент трансформации напряжения K вводится в уравнения

– баланса падений напряжения входной ветви-емкости:

$$L_1 \frac{di_1(t)}{dt} + R_1 i_1(t) + Ku_C(t) = u_{\text{вх}}(t), \quad (1)$$

– баланса токов в узле соединения входной ветви и нагрузки:

$$Ki_1(t) - i_2(t) - C\frac{du_C(t)}{dt} = 0. \quad (2)$$

При составлении модели переходного процесса не учитывался магнитный гистерезис и утечки тока трансформатора, взаимное влияние индуктивностей.

За основу бралась однофазная линейная модель поведения элементов системы электроснабжения с коэффициентом трансформации входного синусоидального напряжения 36/0,4 кВ.

В матричном виде решаемая система уравнений имеет вид:

$$\begin{bmatrix} \frac{di_1(t)}{dt} \\ \frac{di_2(t)}{dt} \\ \frac{du_C(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_1}{L_1} & 0 & -\frac{K}{L_1} \\ 0 & -\frac{R_2}{L_2} & \frac{1}{L_2} \\ \frac{K}{C} & -\frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1(t) \\ i_2(t) \\ u_C(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{u_{\text{вх}}(t)}{L_1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

В качестве расчетного метода был выбран алгоритм Рунге-Кутта 4-го порядка с автоматическим выбором шага интегрирования [4].

На рис. 2 приведены графики изменения силы тока во входной ветви (с учетом коэффициента трансформации К) и на нагрузке для времени переходного процесса длительностью 0,08 сек. Фактическая величина силы тока во входной ветви в К раз меньше приведенной на графике.

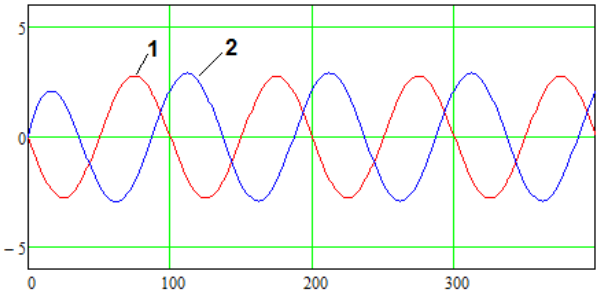

Рис. 2. График изменения токов:
1– на входной ветви, 2 – на нагрузке

Трансформатор обеспечивает получение на нагрузке переменного напряжения 0,4 кВ (рис. 3).

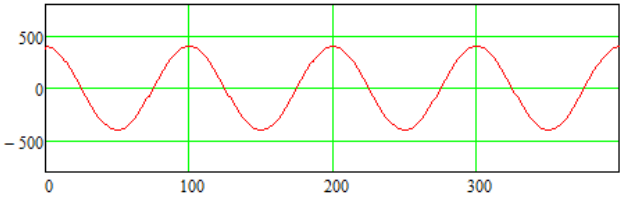

Рис. 3. График изменения напряжения на нагрузке

Изменение мгновенных мощностей на входе и на нагрузке показано на рис. 4. Судя по размаху колебаний имеем полную передачу мощности от источника к потребителю со смещением графика потребляемой мощности по ординате, что связано с влиянием емкости, орга-

низующей перетечку мощности между параллельными ветвями с сопротивлением-индуктивностью $R_2 - L_2$ и емкостью C_2.

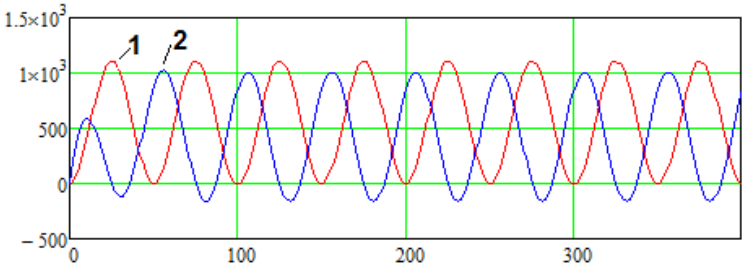

Рис. 4. График изменения мгновенных мощностей:
1– на входной ветви, 2 – на нагрузке

Выводы по работе

Моделирование переходных процессов систем электроснабжения позволяет получить детальную картину динамических процессов, что, в свою очередь, дает возможность закладывать в проектируемые системы энергоэффективность функционирования объектов.

Библиографический список

1. **Иванов И.И., Соловьев Г.Н., Фролов В.Я.** Электротехника и основы электроники. СПб: Лань, 2012. 736 с. [eLIBRARY ID: 25483798]

2. **Ионова В.И.** Моделирование переходных процессов в электрической цепи с учетом магнитного гистерезиса трансформатора // Наука, образование, теория, практика: новые подходы и актуальные исследования: сб. статей межд. науч.-практ. конф.. Самара: Поволжская научная корпорация, 2019. С. 101-103.

3. **Аронов Л. В.** Расчет переходного процесса при включении электропривода в однофазной электрической цепи переменного тока // Молодой учёный. 2015. № 22 (102). С. 124-126. [eLIBRARY ID: 25093676]

4. **Дьяконов В.П**. MathCad 2001. СПб.: Питер, 2001. 624 с.

MODELING OF THE TRANSFORMER INFLUENCE ON A CHARACTER OF THE TRANSIENT PROCESS IN TRANSMISSION LINES OF AN ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEM

V.I. Ionova and D.P. Andrianov
Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir

Abstract. The article examines the modeling of transient processes in transmission lines of electrical power supply system's considering the influence of the transformer. It has been shown that the transformation ratio significantly influences the character of current and voltage oscillations. The modeling was carried out by numerical methods in math software MathCad. The suggested method allows to choose the optimal combination of parameters that ensure the required electrical energy quality.

Keywords: Transformer, electrical load, transient process, transformation ratio, equivalent circuit.