

УДК 621.319

А.А. Кралин, М.П. Тюриков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХСТЕРЖНЕВОГО ТРАНСФОРМАТОРА В SIMULINK

Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева

Объект исследования: Трансформаторы преобразовательных устройств.**Цель:** Создание в программе Matlab Simulink математических моделей многообмоточных трансформаторов, служащих для исследования нестационарных режимов работы трансформаторно-тиристорных регуляторов напряжения.**Результаты:** Была создана нелинейная модель трехфазного трехстержневого многообмоточного трансформатора с плоской магнитной системой в программе Matlab Simulink.**Область применения:** Разработанная модель трансформатора может быть использована для исследования устройств, содержащих в своем составе трехфазные многообмоточные трансформаторы со стержневой конструкцией магнитопровода с любыми схемами соединения обмоток. В том числе для трансформаторов с ТТРН, предназначенных для регулирования параметров электроэнергии. Модель позволяет исследовать важнейшие энергетические показатели трансформаторов с ТТРН с различными группами соединения обмоток в динамических и статических режимах работы при симметричной и несимметричной нагрузках.*Ключевые слова:* трансформатор, схема, matlab, нелинейная модель, математическая модель, регулирование параметров электроэнергии

Разработка и проектирование устройств регулирования и стабилизации параметров электроэнергии, обладающих высокими технико-экономическими показателями, является одной из актуальных задач энергосбережения.

Среди обширного класса данных устройств, различающихся как по принципу регулирования параметров электроэнергии, так и по технической реализации, особое внимание уделяется регуляторам и стабилизаторам напряжения, построенным на базе полупроводниковых приборов, преимущественно тириستоров.

Создание адекватных математических моделей многообмоточных трансформаторов является неотъемлемой частью проектирования таких устройств.

Исследование режимов работы трансформаторов целесообразно осуществлять с помощью компьютерного моделирования с использованием мощных современных программных средств, таких как Matlab со встроенным пакетом визуального моделирования Simulink.

В ходе выполнения научной работы была создана нелинейная модель трехфазного трехстержневого многообмоточного трансформатора с плоской магнитной системой в программе Matlab Simulink.

Схема замещения (рис. 1) состоит из следующих элементов $(w_1i_1-w_xi_x)$, $(w_2i_2-w_yi_y)$, $(w_3i_3-w_zi_z)$ - намагничивающие силы обмоток на стержнях магнитопровода; $(\Phi_A-\Phi_C)$ соответственно магнитные потоки фаз; $H_{AlA} \div H_{ClC}$; $H_{ЯAlЯ} \div H_{ЯClЯ}$ - падения магнитных напряжений на ферромагнитных участках (стержень, ярмо) от потока этих участков, H_{0l0} - падение магнитного напряжения от потока нулевой последовательности.

В соответствии с приведенной схемой замещения уравнения магнитного состояния трехфазного многообмоточного трансформатора будут иметь следующий вид:

$$w_1i_1+w_4i_4+\dots+w_xi_x - H_{AlA} - 2H_{ЯAlЯ} - H_{0l0}=0;$$

$$w_2i_2+w_5i_5+\dots+w_yi_y - H_{BlB} - H_{0l0}=0;$$

$$w_3i_3+w_6i_6+\dots+w_zi_z - H_{ClC} - 2H_{ЯClЯ} - H_{0l0}=0.$$

Величина потока нулевой последовательности:

$$\Phi_A+\Phi_B+\Phi_C=\Phi_0.$$

Магнитные потери учитываются с помощью активных сопротивлений включенных параллельно соответствующим обмоткам.

Нелинейные свойства материала магнитопровода учитываются с помощью кусочно-линейной интерполяции заданной табличной функции основной кривой намагничивания высоколегированной холоднокатаной анизотропной стали 3413 [1].

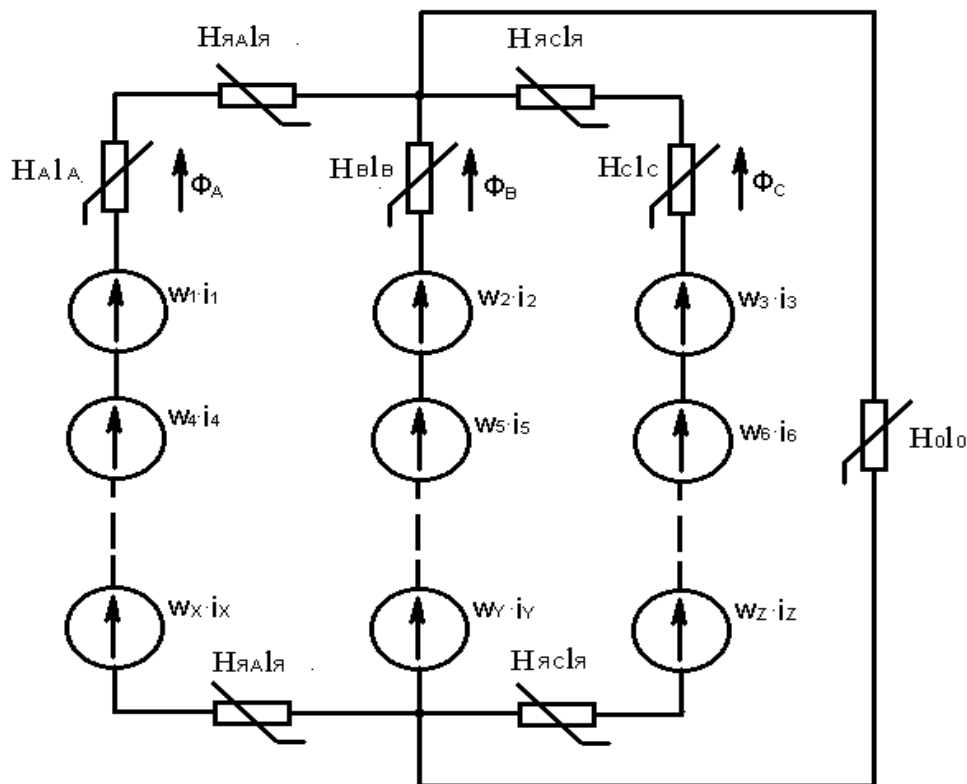


Рис. 1. Схема замещения магнитной цепи трехстержневого многообмоточного трансформатора с контуром замыкания потоков нулевой последовательности

В дополнение к системе нелинейных алгебраических уравнений составлена модель электрической системы (обмоток) трансформатора по следующим выражениям:

$$U_1 = L_{S1.1} \frac{di_1}{dt} + w_1 \frac{d\Phi_A}{dt} + R_1 i_1;$$

$$U_2 = L_{S2.2} \frac{di_2}{dt} + w_2 \frac{d\Phi_2}{dt} + R_2 i_2;$$

$$U_Y = L_{SY.Y} \frac{di_Y}{dt} + w_Y \frac{d\Phi_Y}{dt} + R_Y i_Y,$$

где U_n - напряжение соответствующей обмотки; $L_{Sm.m}$ - собственные индуктивности рассеяния обмоток; R_n - активные сопротивления обмоток; w_n - число витков обмоток.

Полная модель многообмоточного трансформатора состоит из двух моделей, отвечающих за магнитную и электрическую схемы замещения трансформатора.

В качестве параметров модели трансформатора используются данные трансформатора ТМ 400 -10/0,4 Y/Y-0:

- потери холостого хода $P_0=950$ Вт,
- потери короткого замыкания $P_k=5500$ Вт,
- ток холостого хода $I_0=2,1\%$,
- напряжение короткого замыкания $U_K=4,5\%$.

Адекватность модели проверялась по данным опытов холостого хода и короткого за-

мыкания. В процессе моделирования установлено, что при завершении переходного процесса включения ненагруженного трансформатора мощность потерь холостого хода составляет 920 Вт (рис. 2), что меньше заявленных каталожных потерь на 3,1%. Мощность потерь короткого замыкания составляет 5500 Вт. Отличие от каталожных данных составляет 0,9%.

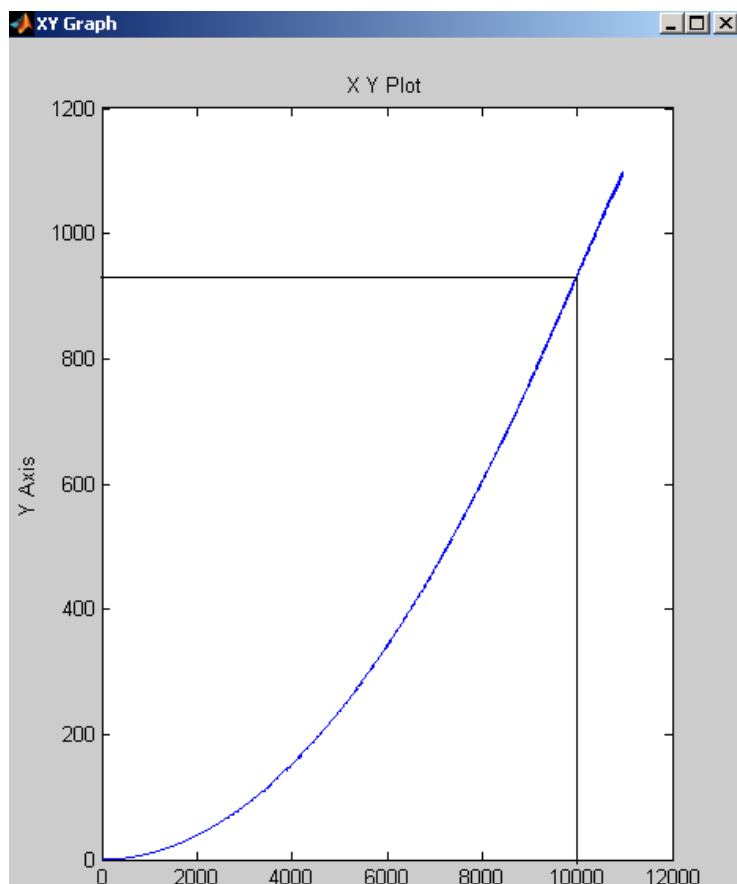


Рис. 2. Зависимость потерь холостого хода от напряжения

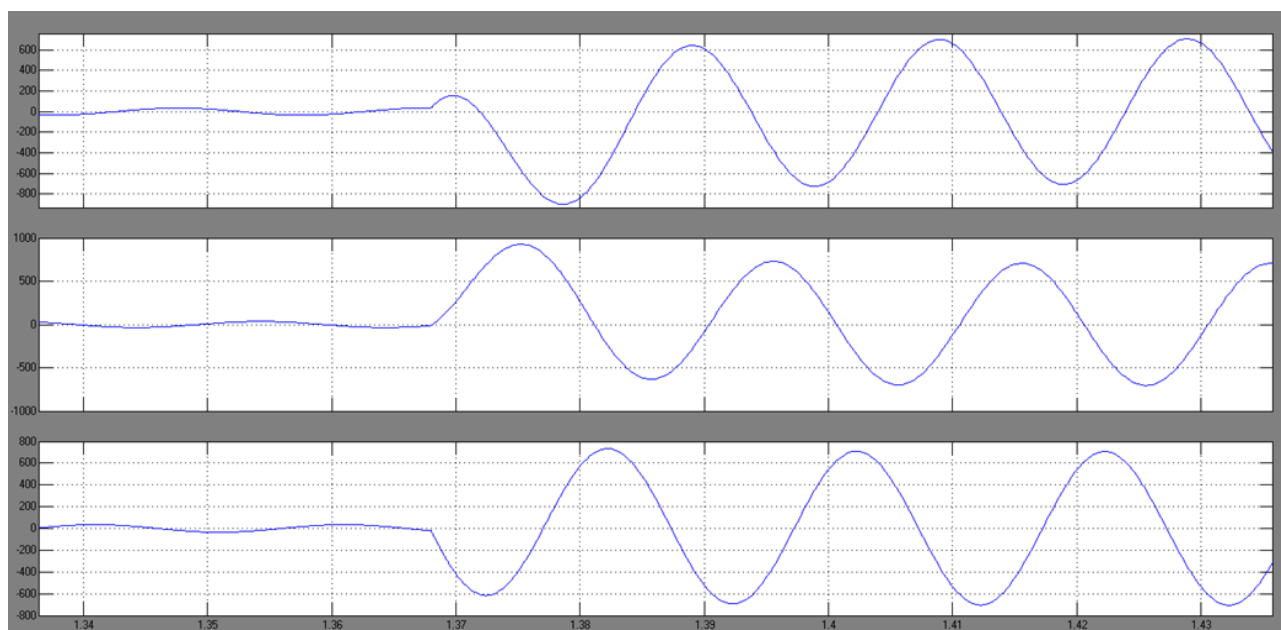


Рис. 3. Ударный ток симметричного трехфазного короткого замыкания трансформатора ТМ 400 -10/0,4 Y/Y-0

Исследование аварийных режимов работы трансформатора показывает, что при симметричном трехфазном коротком замыкании действующее значение установившегося тока короткого замыкания составляет $I_{к.у}=470\text{А}$, ударный ток короткого замыкания $i_{k\max}=880\text{ А}$ (рис. 3, 4). Принято, что мощность короткого замыкания электрической сети 10 кВ составляет $500\text{МВ}\cdot\text{А}$.

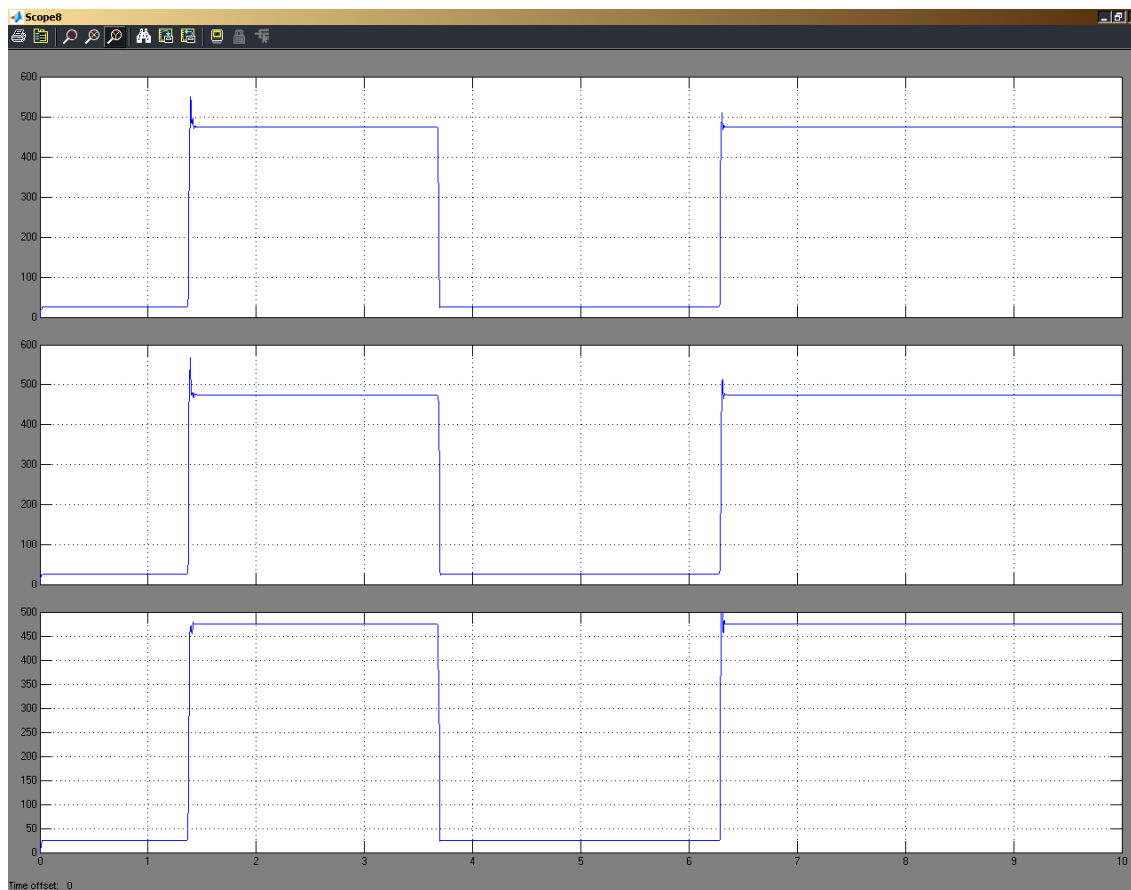


Рис. 4. Действующие значения фазных токов симметричного трехфазного КЗ

Разработанная модель трансформатора может быть использована для исследования устройств, содержащих в своем составе трехфазные многообмоточные трансформаторы со стержневой конструкцией магнитопровода с любыми схемами соединения обмоток. В том числе для трансформаторов с ТТРН, предназначенных для регулирования параметров электроэнергии. Модель позволяет исследовать важнейшие энергетические показатели трансформаторов с ТТРН с различными группами соединения обмоток в динамических и статических режимах работы при симметричной и несимметричной нагрузках. Модель реализует следующие функции: отображение переходных электромагнитных величин, таких как ток, напряжение, магнитная индукция, магнитный поток трансформатора, что позволяет измерять основные характеристики трехфазных трансформаторов в режимах холостого хода, короткого замыкания и под нагрузкой. В динамических режимах модель позволяет исследовать режимы внезапного короткого замыкания и подключения трансформатора к трехфазной сети.

Библиографический список

1. Алтунин, Б.Ю. Исследование режимов работы нелинейного трехфазного трансформатора в пакете Simulink / Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин, В.В. Гуляев // Вестник волжской государственной академии водного транспорта. 2012. № 32. С. 195–198.

2. Нелинейная модель трехфазного трехстержневого трансформатора с устройством регулирования под напряжением (РПН): Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. № 2012613685 РФ / Алтунин Б.Ю., Кралин А. А., Севостьянов А.А.: Роспатент, Реестр программ для ЭВМ, 19 апреля 2012 г.

*Дата поступления
в редакцию 02.06.2015*

A.A. Kralin, M.P. Turikov

SIMULATION OF TRANSFORMERS IN CONVERSION DEDICES

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Subject: Transformers in conversion dedices.

Purpose: Creation of mathematical model of multiwinding transformers in Matlab Simulink, used for research on transformer-thyristor regulator of voltage (TTRV) in nonstationary mode

Results: Creation nonlinear model of three-phase three-rod multiwinding transformer with flat magnetic system in Matlab Simulink

Field of application: This model can be used to research on devices which contains three-phase multiwinding rod magnetic circuit transformer with any winding connection schemes including TTRV transformers designed to regulate parameters of the electric energy. The model allow to investigate main energy parameter of TTRV transformers with different connection schemes in dynamic and static mode under symmetric and asymmetric load

Key words: transformer, matlab, nonlinear model, mathematical model, regulation of electric energy parameters.