

Арсентьев О.В., Герасимов Д.О.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Трансформатор является одним из основных элементов системы электроснабжения и от его работы зависят условия поставки электроэнергии потребителю. Правильный выбор трансформатора (Тр) с учетом условий как внешнего питания, так и вида и характера нагрузки, определяет надежность и устойчивость работы всей энергосистемы. Корректная оценка загрузки трансформатора позволяет более точно подобрать его по мощностным, массогабаритным показателям, с точки зрения оптимального использования, снизить капитальные и эксплуатационные расходы.

Для исследования работы Тр используются различные экспериментальные и расчетные способы. Они позволяют оценить рабочие свойства Тр исходя из свойств его магнитной и электрической системы. При этом практические методы исследования, как правило, ограничиваются опытами холостого хода и короткого замыкания, на основе которых осуществляется построение внешних характеристик, определяется КПД и коэффициент мощности ТР. Расчетные методики используют математическое моделирование Тр и проводят расчет его характеристик по параметрам схемы замещения. Все эти методы не позволяют рассмотреть Тр как часть системы электроснабжения, зависящий от работы остальных ее элементов.

Существуют различные математические пакеты для моделирования как отдельных элементов систем электроснабжения, так и ее работы в целом. Наиболее признанным в этой области является пакет имитационного моделирования Simulink системы Matlab [1]. Он содержит набор типовых блоков, включающих блоки питания, трансформаторы, длинные линии, измерительные устройства и многое другое. Каждый из блоков имеет отдельное окно настройки параметров, правильность их расчётов и выбора является определяющим для адекватности моделирования по сравнению с реальным объектом.

Моделирование может проводиться как в реальном времени, так и в режиме, позволяющем получить необходимые выходные данные максимально быстро. Однако при этом необходимо учесть ряд особенностей, присущих данному пакету. Большинство моделей требует математическую подготовку исходных данных, выбор решателя системы дифференциальных уравнений, задание шага интегрирования, выбор диапазона точности.

В библиотеке представлены основные, наиболее часто используемые системы Тр: однофазные, трехфазные, трехобмоточные. В основе моделирования трансформатора лежит схема замещения Тр без учёта и с учётом насыщения магнитной цепи. При этом, связь между первичной и вторичной обмотками сохраняется магнитной, а не заменяется электрической. В соответствии с этим, параметры вторичной обмотки в ней не приводятся к первичной, а представлены в виде истинных величин. Связь между обмотками – через ферромагнитный магнитопровод, характеристику которого так же можно задавать в виде кривой намагничивания. Ниже приведена схема замещения без учёта насыщения магнитной цепи (рис. 1).

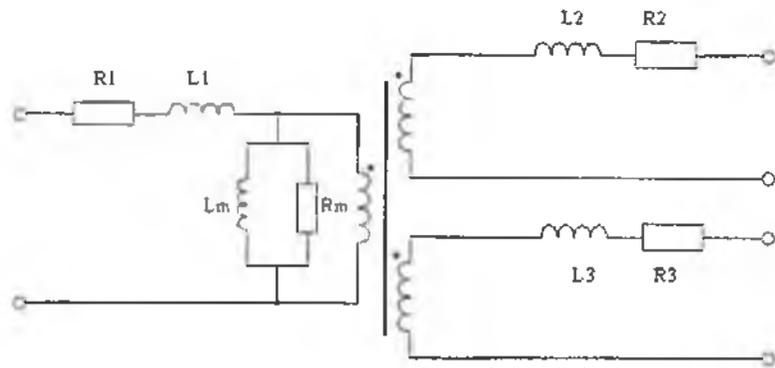


Рис. 1. Схема замещения трёх обмоточного однофазного трансформатора.

Окно задания параметров данного трансформатора.

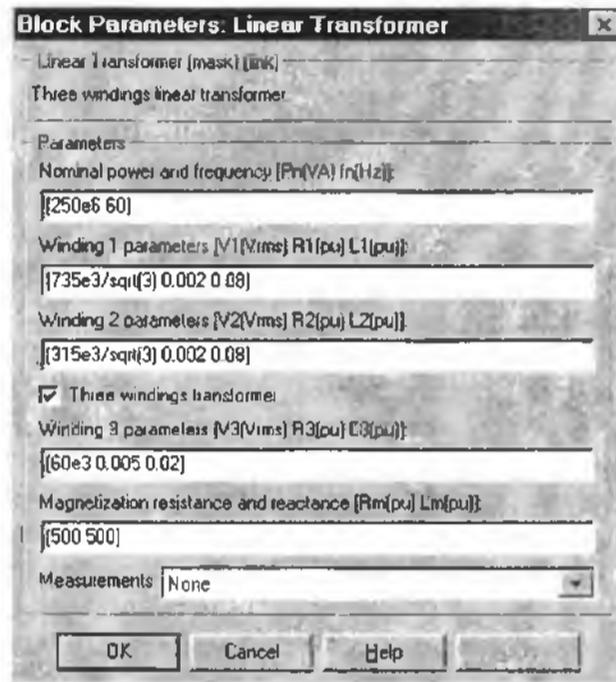


Рис. 2. Окно задания параметров трёх обмоточного трансформатора.

В основе расчета данных параметров удобно использовать номинальные (каталожные) данные трансформатора. Для расчета вышеизложенных параметров необходимы следующие паспортные данные реального трансформатора.

S_{BA} – полная мощность трансформатора (в паспортных данных мощность как правило указана в kVA).

$U_1 B$ – номинальное напряжение первичной обмотки.

$U_2 B$ – номинальное напряжение вторичной обмотки.

$U_K \%$ – напряжение короткого замыкания (можно определить из опыта короткого замыкания).

$I_0\%$ – ток холостого хода (определяется из опыта холостого хода).

$P_K Bm$ – потери короткого замыкания (из опыта короткого замыкания).

$P_0 Bm$ – потери холостого хода (из опыта холостого хода).

В различной литературе приводятся разные алгоритмы расчёта окна блока настройки параметров [2,3,4]. Основное их отличие заключается в выборе базисных величин.

Активные сопротивления и индуктивности обмоток, а также цепи намагничивания задаются в относительных единицах. Для каждой обмотки относительные значения сопротивления и индуктивности вычисляются по выражениям:

$$R_* = \frac{R}{R_6}, \quad L_* = \frac{L}{L_6}$$

где:

R_* и L_* - относительные значения сопротивления и индуктивности,

R и L - абсолютные значения сопротивления и индуктивности,

$$R_6 = \frac{U_n^2}{P_n} \quad \text{- базисное сопротивление,}$$

$$L_6 = \frac{R_6}{2 \cdot \pi \cdot f_n} \quad \text{- базисная индуктивность,}$$

f_n - номинальная частота,

U_n - номинальное напряжение обмотки.

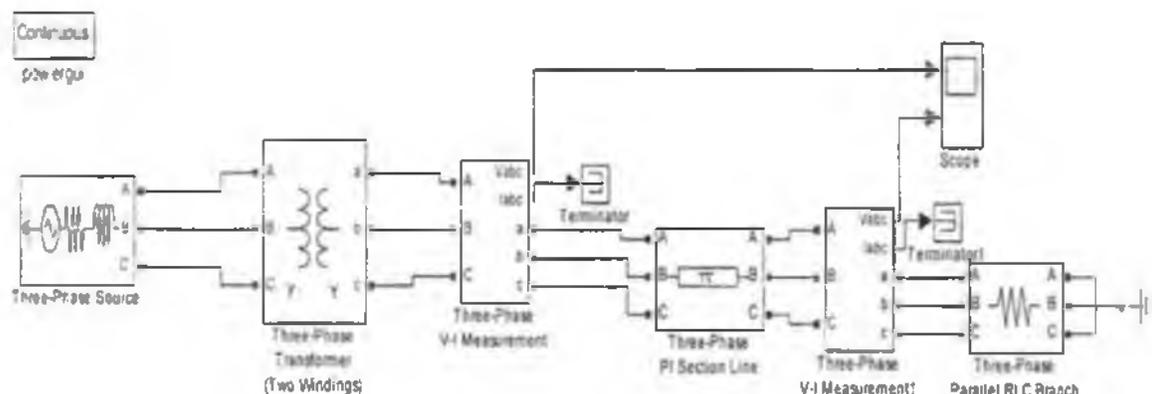


Рис. 3 Модель сети с трёхфазным трансформатором.

В качестве примера рассмотрим модель трехфазного двухобмоточного трансформатора (рис. 3), параметры которого рассчитываются по вышеприведенной методике. Имеется трехфазный источник питания, характеристики кото-

рого могут также задаваться при проектировании. Нагрузка трансформатора включается через длинную линию, моделирующую систему электроснабжения. Представленная модель позволяет изменять параметры как источника электроэнергии, так и характер и условия работы нагрузки. В данном случае нагрузка чисто активная и питается от Тр через линию электропередачи длиной 50 км.

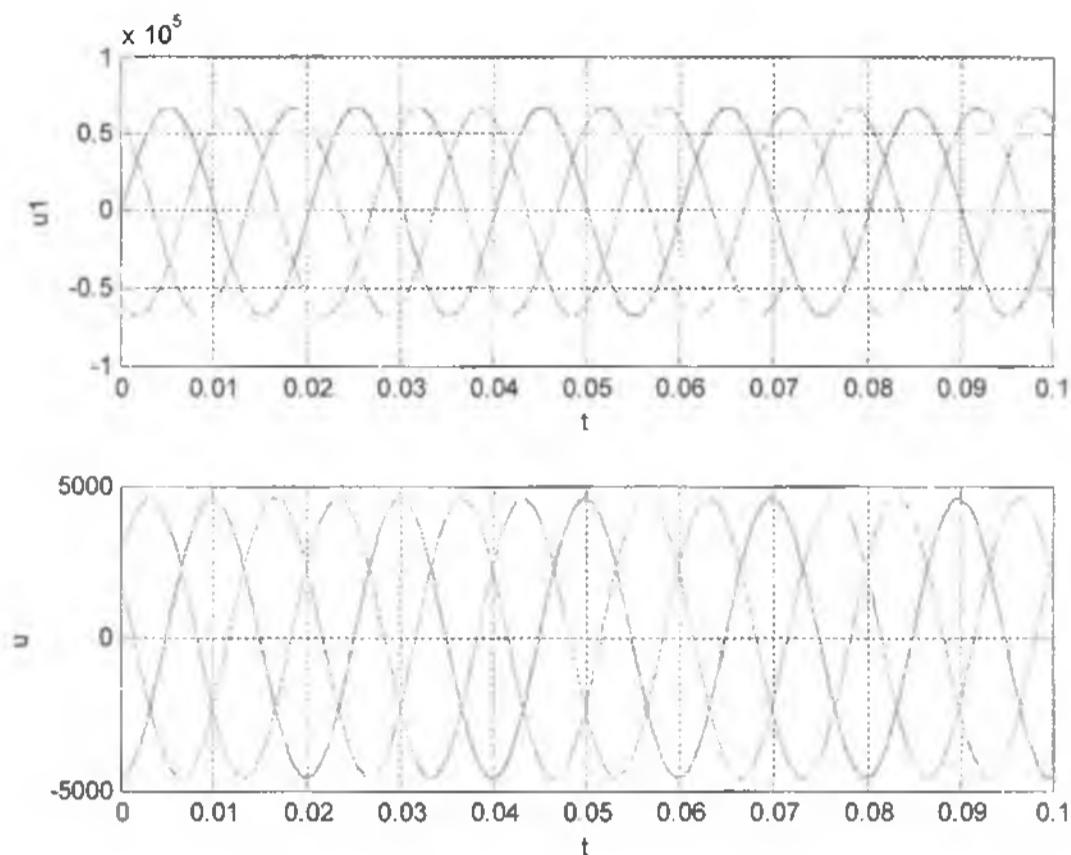


Рис.4. Осциллограммы напряжений на выходе трансформатора и на нагрузке.

На рисунке 4 приведены осциллограммы напряжений на вторичной обмотке трансформатора, в начале линии и на нагрузке (в конце линии). По результатам работы модели можно оценить величину напряжения с учётом влияния параметров сети электроснабжения и дать практические рекомендации по использованию трансформатора.

Литература:

1. Гулятьев. А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: учебный курс. – Санкт – Петербург.: Питер, 2000.
2. Герман-Галкин С. Г., Кардонов Г.А. Электрические машины. Лабораторные работы на ПК. – Санкт – Петербург.: КОРОНА принт, 2007.
3. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. – Санкт – Петербург.: КОРОНА принт, 2001.
4. <http://matlab.exponenta.ru>