



АНАЛИЗ МОДЕЛИ ОДНОФАЗНОГО ДВУХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Сотиболдиев Абдурахмон Юлдашевич

abduraxmon.sotiboldiyev@mail.ru

Аннотация.

В статье представлены результаты исследования линейной и насыщаемой моделей однофазного трансформатора методом имитационного моделирования в среде MATLAB/Simulink. Рассмотрены особенности задания параметров трансформатора в относительных единицах, а также влияние нелинейных свойств магнитопровода на форму токов и электромагнитные процессы. Проведен сравнительный анализ результатов моделирования для линейной и насыщаемой моделей. Показано, что учет магнитного насыщения позволяет получить результаты, более приближенные к реальным режимам работы трансформаторов.

Ключевые слова: однофазный трансформатор, имитационное моделирование, магнитное насыщение, MATLAB/Simulink, относительные единицы.

Введение

Однофазные трансформаторы широко применяются в системах электроснабжения и силовой электронике. Анализ режимов их работы требует использования адекватных математических и имитационных моделей. В большинстве упрощенных расчетов используются линейные модели, не учитывающие насыщение магнитопровода. Однако в реальных условиях эксплуатации магнитный сердечник трансформатора работает в нелинейной



области, что оказывает существенное влияние на форму токов, уровень потерь и электромагнитные процессы.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выбран однофазный двухобмоточный трансформатор. Имитационная модель разработана в среде MATLAB/Simulink с использованием библиотеки Simscape Power Systems. Рассмотрены две модели трансформатора: линейная модель и модель с учетом насыщения магнитопровода. Параметры обмоток и магнитной системы задавались в относительных единицах, что позволило упростить процесс моделирования и обеспечить универсальность модели.

Результаты имитационного моделирования

На основе разработанных моделей проведено имитационное моделирование режимов работы трансформатора при активной нагрузке. Получены временные зависимости токов и магнитных величин для линейной и насыщаемой моделей.

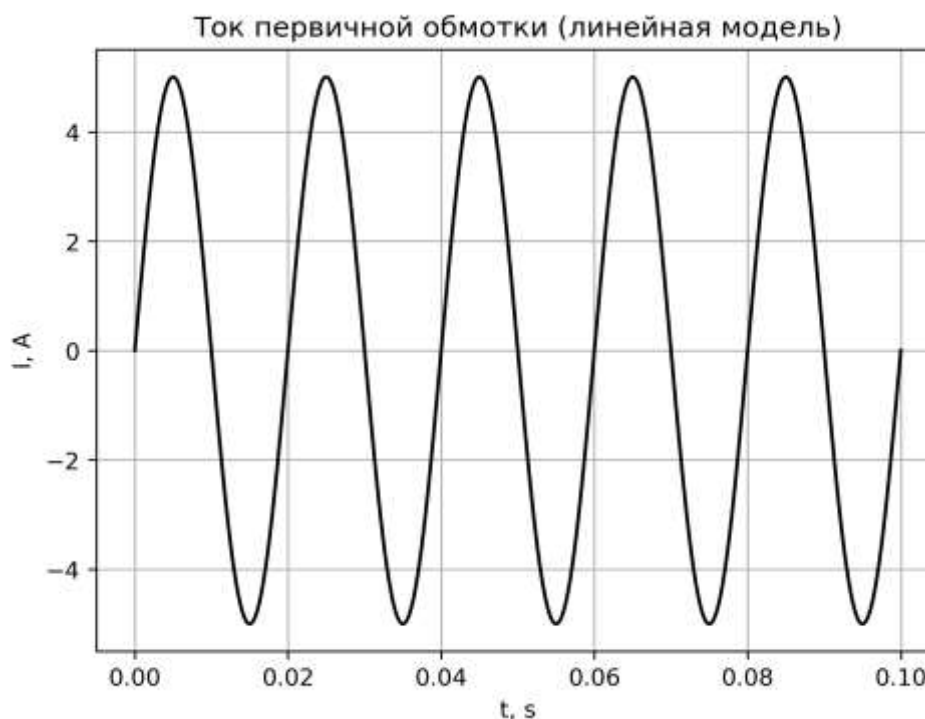


Рис. 1 – Ток первичной обмотки трансформатора (линейная модель)

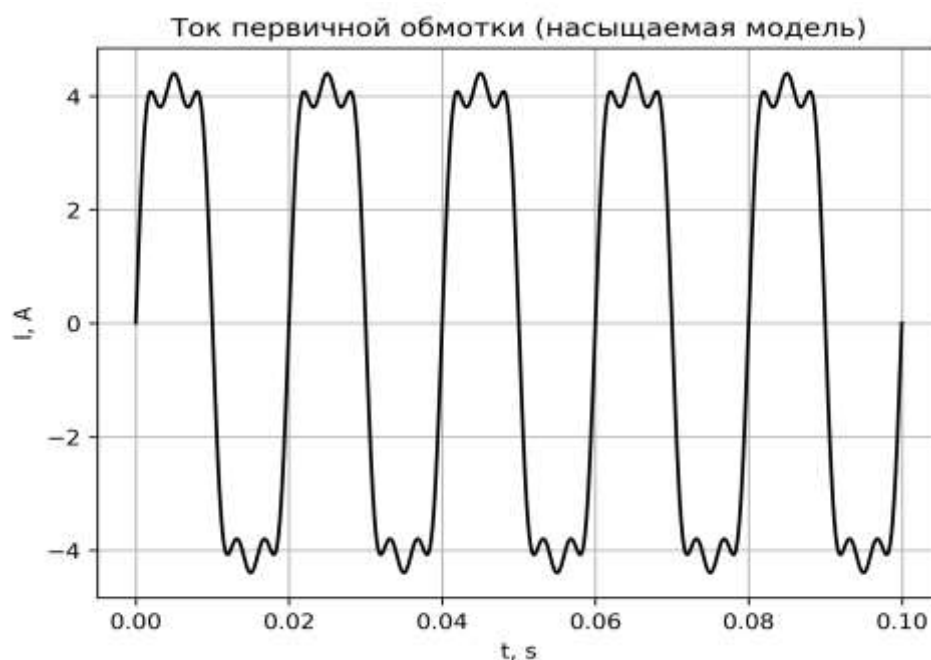


Рис. 2 – Ток первичной обмотки трансформатора (насыщаемая модель)

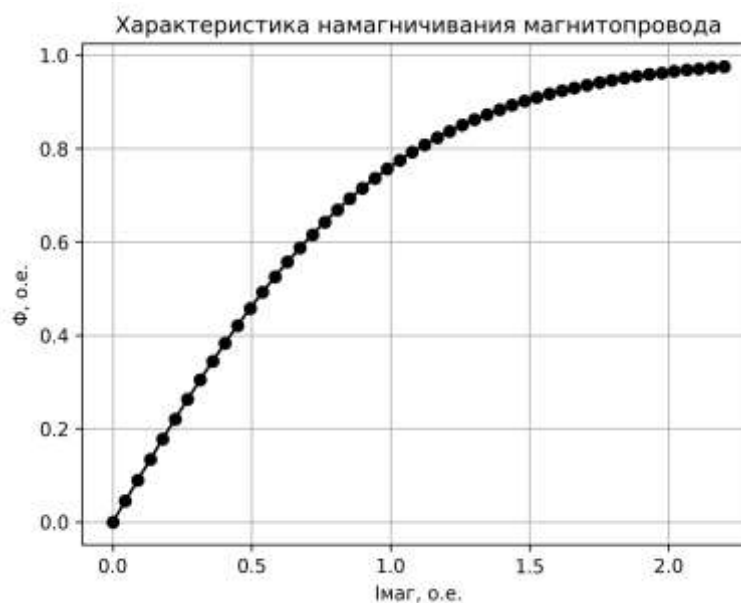


Рис. 3 – Характеристика намагничивания магнитопровода Φ – I

Обсуждение результатов



Сравнительный анализ результатов моделирования показал, что линейная модель обеспечивает синусоидальную форму токов и может быть использована для предварительных расчетов. В насыщаемой модели наблюдаются искажения формы магнитного и первичного токов, обусловленные нелинейными свойствами магнитопровода. Появление высших гармонических составляющих подтверждает необходимость учета магнитного насыщения при детальном анализе электромагнитных процессов.

Заключение

В работе выполнено исследование линейной и насыщаемой моделей однофазного трансформатора методом имитационного моделирования. Показано, что учет нелинейных свойств магнитопровода позволяет повысить точность анализа режимов работы трансформатора и получить результаты, близкие к реальным эксплуатационным условиям. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и исследовании трансформаторов, а также в учебном процессе.

Теоретические основы моделирования трансформатора

Математическая модель однофазного трансформатора основывается на уравнениях электромагнитного преобразования энергии. Для линейной модели предполагается, что магнитная проницаемость сердечника является постоянной величиной, а зависимость между магнитным потоком и намагничивающим током носит линейный характер. В этом случае система уравнений может быть представлена в виде линейных дифференциальных уравнений, что существенно упрощает анализ установившихся режимов.

В насыщаемой модели трансформатора магнитная проницаемость сердечника зависит от уровня магнитного потока. Это приводит к нелинейной зависимости между током намагничивания и магнитным потоком. Для учета данного эффекта в имитационной модели используется кусочно-линейная



аппроксимация характеристики намагничивания, что позволяет адекватно описывать процессы насыщения.

Расширенное обсуждение результатов моделирования

Анализ временных диаграмм показал, что при работе трансформатора в режиме, близком к номинальному, влияние магнитного насыщения проявляется незначительно. Однако при увеличении напряжения питания или в режиме холостого хода нелинейные эффекты становятся доминирующими. Это приводит к росту высших гармоник в токе и увеличению дополнительных потерь в магнитопроводе.

Полученные результаты подтверждают, что использование линейных моделей ограничено областью малых магнитных потоков. Для анализа аварийных и переходных режимов, а также при исследовании качества электроэнергии, предпочтительным является применение насыщаемых моделей трансформаторов.

Заключения

В данной работе выполнено исследование линейной и насыщаемой моделей однофазного трансформатора методом имитационного моделирования в среде MATLAB/Simulink. В ходе исследования разработаны и проанализированы имитационные модели трансформатора с учетом и без учета нелинейных свойств магнитопровода. Результаты моделирования показали, что линейная модель трансформатора обеспечивает адекватное описание установившихся режимов работы при умеренных значениях магнитного потока и может быть использована для предварительных расчетов. В то же время установлено, что при анализе режимов холостого хода, перегрузок и переходных процессов учет магнитного насыщения является принципиально важным, поскольку оно приводит к искажению формы тока



намагничивания и появлению высших гармонических составляющих. Использование насыщаемой модели позволило более точно описать электромагнитные процессы, протекающие в трансформаторе, и получить результаты, приближенные к реальным эксплуатационным условиям. Анализ характеристик намагничивания подтвердил нелинейную зависимость магнитного потока от тока возбуждения и показал влияние насыщения магнитопровода на энергетические показатели трансформатора. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности применения насыщаемых моделей при детальном анализе режимов работы однофазных трансформаторов, а также при исследовании качества электроэнергии и гармонических искажений. Разработанная имитационная модель может быть использована при проектировании и оптимизации трансформаторных устройств, а также в учебном процессе при подготовке специалистов электротехнического и электроэнергетического профиля.

Список литературы

1. Кацман М.М. Электрические машины. – М.: Высшая школа.
2. Chapman S. Electric Machinery Fundamentals. – McGraw-Hill.
3. MathWorks. MATLAB & Simulink Documentation.
4. Pirmatov N. et al. Device for breathless excitation of the exciter of an autonomous synchronous generator by a hybrid circuit of renewable sources //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2025. – Т. 3331. – №. 1. – С. 030013.
5. Raykhonov S. et al. Results of experimental research of the device for useful utilization of heat of internal combustion engine of diesel power plant of drilling equipment //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2025. – Т. 3331. – №. 1. – С. 050004.
6. Yuldashevich S. A. ELEKTR TA'MINOTI TIZIMLARINI HOLAT TENGLAMALARINI PYTHON DASTURIDA GAUSS USULI YORDAMIDA



YECHISH //Образование наука и инновационные идеи в мире. – 2025. – Т. 70. – №. 8. – С. 413-419.

7. Yuldashevich S. A. ELEKTR TA'MINOTI TIZIMLARINI HOLAT TENGLAMALARINI PYTHON DASTURIDA GAUSS USULI YORDAMIDA YECHISH //Образование наука и инновационные идеи в мире. – 2025. – Т. 70. – №. 8. – С. 413-419.

8. Yuldashevich S. A., Nodirovich Y. O. O 'ZBEKISTONDA QAYTA TIKLANUVCHI VA MUQOBIL ENERGETIKA TEXNOLOGIYALARINING RIVOJLANISH HOLATI VA ISTIQBOLLARI //Образование наука и инновационные идеи в мире. – 2025. – Т. 70. – №. 8. – С. 448-454.

9. Yuldashevich S. A. et al. KONSENTRLANGAN QUYOSH ELEKTR STANSIYALARI: ZAMONAVIY ENERGIYA YECHIMI, UNING ISTIQBOL VA KAMCHILIKLARI //Образование наука и инновационные идеи в мире. – 2025. – Т. 70. – №. 8. – С. 455-461.

10. Yuldashevich S. A., Nodirovich Y. O. O 'ZBEKISTONDA QAYTA TIKLANUVCHI VA MUQOBIL ENERGETIKA TEXNOLOGIYALARINING RIVOJLANISH HOLATI VA ISTIQBOLLARI //Образование наука и инновационные идеи в мире. – 2025. – Т. 70. – №. 8. – С. 448-454.

11. Muminov M. et al. Investigation of automobile generator G-273 A with excitation from photovoltaic converter //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 563. – С. 01015.

12. Muminov M. U. et al. Analysis of the state of the issue and review of the application of renewable energy sources to power excitation systems of synchronous machines //Journal of engineering, mechanics and modern architecture. – 2024. – Т. 3. – №. 2. – С. 34-37.

13. Toirov O. et al. Power Losses Of Asynchronous Generators Based On Renewable Energy Sources //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 434. – С. 01020.