

А. М. МУХА, О. І. БОНДАР, Д. В. УСТИМЕНКО, О. Я. КУРИЛЕНКО (ДНУЗТ)

Кафедра «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, к.125, м. Дніпро, 49010, Україна, тел.: +380563731547, e-mail: andremu@i.ua, etemdiiit@gmail.com, ustimenko.1979@gmail.com, elena.kyrylenko@gmail.com; ORCID: orcid.org/0000-0002-5629-4058, orcid.org/0000-0003-3884-5589, orcid.org/0000-0003-2984-4381, orcid.org/0000-0003-2045-917X

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ПІДВИЩЕНОЇ ЧАСТОТИ ТЯГОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Вступ

Проблема модернізації електрорухомого складу (ЕРС) українських залізниць є на сьогодні вкрай актуальною через високий ступінь зносу останнього (~ 90%). Водночас важливою складовою задачі створення нового високошвидкісного та енергоефективного електрорухомого складу є розробка сучасних тягових силових трансформаторів призначених для роботи у складі єдиного електротехнічного комплексу «тяговий трансформатор – силовий перетворювач – асинхронних двигун».

На нашу думку, застосування комп'ютерного моделювання в рамках цієї задачі є раціональним шляхом прогнозування електричних величин у різних режимах роботи зазначеного електротехнічного комплексу.

Під час означеного моделювання слід враховувати, що на відміну від силових трансформаторів промислових електричних систем, у моделях яких в більшості випадків електрич-

ною ємністю можна знехтувати, модель тягового трансформатора має бути адекватною у широкому діапазоні частот і для цього має містити у своєму складі власні ємності окремих частин трансформатора, порядок визначення яких наведено, наприклад, у роботі [1]. Зокрема власна ємність обмоток трансформатора складається з ємностей між внутрішнім шаром обмотки та магнітопроводом, між шарами обмотки, між окремими обмотками. Існують також ємності між зовнішнім шаром обмотки та екраном або баком трансформатора, монтажні ємності та ємності підключених провідників.

Відомі на сьогодні схеми заміщення тягових трансформаторів базуються на теорії електричних кіл із взаємною індуктивністю [2]. Актуальною задачею на сьогодні є адаптація їх структури під стандартні модулі програм комп'ютерного моделювання, таких, як, наприклад, Matlab Simulink, з додаванням відповідних ємностей.

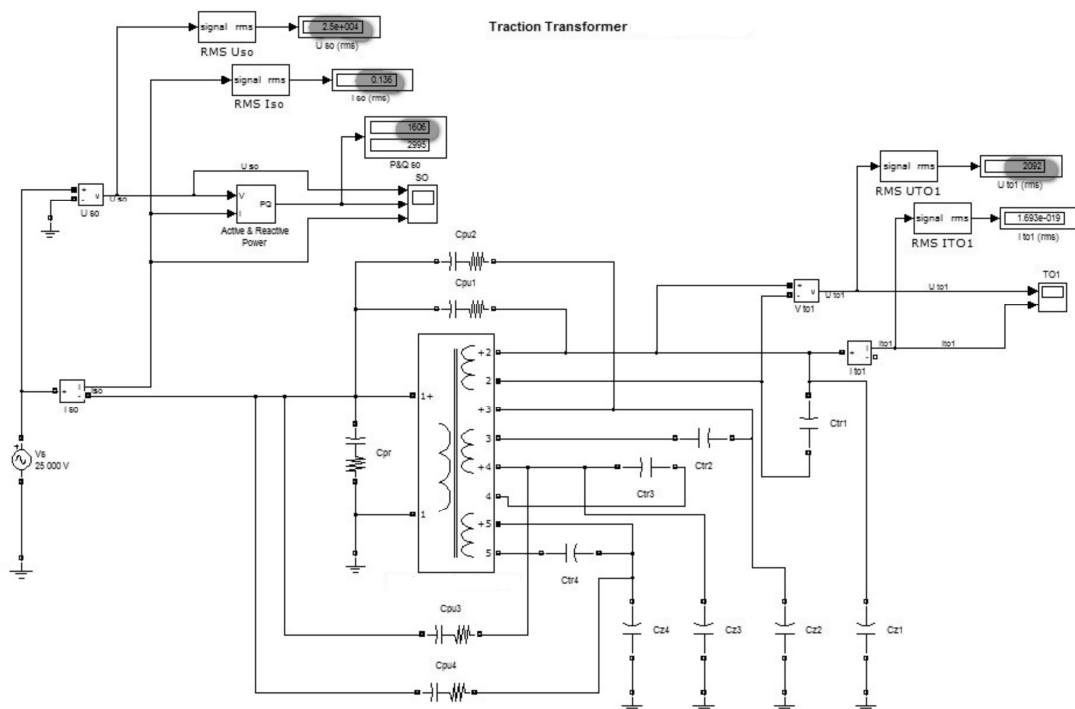


Рис. 1. Доповнена модель тягового трансформатора для системи Matlab Simulink.

© Муха А. М. та ін., 2018

Структура моделі та результати досліджень

В даній роботі наведено саме таку модель тягового трансформатора потужністю 7000 кВА, параметри якого наведені в табл.1 та результати здійснених на її основі результатів комп'ютерного моделювання високочастотних режимів роботи згаданого трансформатора. Моделювання проводилося для режиму неробочого ходу. Метою досліджень є виявлення можливих резонансних явищ у дослідному діапазоні. Результати представлені у табл.2.

Таблиця 1

Об-мотка	Позначення на моделі	Одиниці виміру	Значення
СО	Lpr	мГн	507417
	Lcctr	мГн	15,55
	Rpr	МОм	1182
	Cpr	пФ	37,7
	Cpu1	пФ	151,9
	Cpu2	пФ	151,9
	Cpu3	пФ	151,9
	Cpu4	пФ	151,9
ТО1	Ltr1	мГн	3553,0
	Lcctr1	мГн	3,67
	Rtr1	МОм	22,48
	Ctr1	пФ	361,3
	Cz1	пФ	353,5
ТО2	Ltr2	мГн	3553,0
	Lcctr2	мГн	3,67
	Rtr2	МОм	22,48
	Ctr2	пФ	361,3
	Cz2	пФ	353,5
ТО3	Ltr3	мГн	3553,0
	Lcctr3	мГн	3,67
	Rtr3	МОм	22,48
	Ctr3	пФ	361,3
	Cz3	пФ	353,5

Таблиця 2

Частота, Гц	25	50	175	420	480	580	720	780	4545
Наявність резонансних явищ (так/ні)	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні
Частота, Гц	5000	5555	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000
Наявність резонансних явищ (так/ні)	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні
Частота, Гц	45000	50000	55000	60000	65000	70000	75000	80000	85000
Наявність резонансних явищ (так/ні)	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні
Частота, Гц	90000	95000	100000	150000	200000	300000	400000	500000	
Наявність резонансних явищ (так/ні)	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні	

Продовження табл. 1.

ТО4	Ltr4	мГн	3553,0
	Lcctr4	мГн	3,67
	Rtr4	МОм	22,48
	Ctr4	пФ	361,3
	Cz4	пФ	353,5

Параметри моделі рис.1 обчислено за методиками, наведеними в [1] та [3]. Адекватність даної моделі підтверджено узгодженістю результатів розрахунку основних режимів роботи трансформатора з результатами протоколу випробувань його дослідного зразка, які були проведені згідно з [4] за участі фахівців галузевої науково-дослідної лабораторії «Надійність та уніфікація електрообладнання рухомого складу» ДПТУ.

Висновки

Проведені у роботі дослідження свідчать, що шляхи протікання струмів високих частот через трансформатор в діапазоні від 50 Гц до 100 кГц утворених головним чином частотним перетворювачем, не містять в своєму складі резонансних ділянок з відповідними небезпечними струмами або перенапругами.

Розроблена модель є цілком адекватною і може бути використана у подальшому у розрахунках електромагнітних процесів на усіх ділянках електротехнічного комплексу «тяговий трансформатор – силовий перетворювач – асинхронний двигун» зокрема з метою забезпечення електромагнітної сумісності нового електро-рухомого складу, що також є необхідною умовою його впровадження в експлуатацію на залізницях України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Расчет электромагнитных элементов источников вторичного электропитания [Текст] / под ред. А. Н. Горского. – М.: Радио и связь, 1988. – 176 с.
2. Линьков, А. О. Совершенствование выпрямительной установки возбуждения тяговых двигателей электровоза переменного тока в режиме рекуперативного торможения : дис. ... к-та техн. наук : 05.22.07 / Линьков Алексей Олегович ; Иркутский гос. ун-т путей сообщений. – Иркутск., 2015. – 177 с.
3. Герман-Галкин, С. Г. Matlab&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК [Текст] / С. Г. Герман-Галкин. – СПб.: Корона принт., 2003. – 256 с.
4. Railway applications – traction transformers and inductors on board rolling stock [Text]: International standard IEC60310/ International electro-technical commission. – Geneva., 2004. – 28 p.

REFERENCES

1. Raschet elektromagnitnykh elementov istochnikov vtorichnogo electropitaniya [Calculation of electromagnetic elements of secondary power supply sources - Text] / after red. A. N. Gorsky M:Radio I svyaz [publishing house] – 1988. – 176 p.
2. Linkov, A. O. Sovershenstvovanie vypryamitelnoy ustanovki возбуждения тяговых двигателей электровоза переменного тока в режиме рекуперативного торможения: diss. ... kand tech. nauk : 05.22.07 [Enhancement of rectifier of excitation of traction motor for the AC current electric locomotive in the recuperative braking mode: Thesis for the candidate of technical science degree in speciality 05.22.07 – rolling stock, traction and electrification] / Linkov Alexey Olegovich ; Irkutskiy. gos. un-t putey soobscheniya [IRGUPS] – Irkutsk., 2015. – 177 p.
3. German-Galkin, S. G. Matlab&Simulink. Proektirovaniye mehatronnykh system na PK [Matlab&Simulink. Design of the mechatronic systems on the PC - Text] / S. G.. German-Galkin. SPb:Corona press [publishing house] – 2003. – 256 p.
4. Railway applications – traction transformers and inductors on board rolling stock [Text]: International standard IEC60310/ International electro-technical commission. – Geneva., 2004. – 28 p.

Ця стаття присвячена проблемам математичного моделювання електротехнічних пристроїв. В роботі представлена комп'ютерна модель багатообмоткового тягового трансформатора з урахуванням його активних опорів, індуктивностей та ємностей. Параметри моделі отримано з використанням підтверджених методик. Зазначену модель створено у програмному середовищі Matlab Simulink. Адекватність моделі підтверджено результатами випробувань трансформатора. На цій основі проведено моделювання режимів роботи трансформатора для струмів підвищеної частоти в діапазоні 50 Гц – 100 кГц. Результати показують відсутність небезпечних резонансних режимів у цьому діапазоні. В подальшому дана модель може бути використана у розрахунках електромагнітних процесів на усіх ділянках електротехнічного комплексу «тяговий трансформатор – силовий перетворювач – асинхронний двигун» зокрема з метою забезпечення електромагнітної сумісності нового електрорухомого складу, що є необхідною умовою його впровадження в експлуатацію на залізницях України.

Ключові слова: електромагнітні процеси, параметри електричного кола, комп'ютерне моделювання, тяговий трансформатор, сучасний електрорухомий склад, висока частота, електрична ємність.

УДК 621.311.3

А. Н. МУХА, О. И. БОНДАРЬ, Д. В. УСТИМЕНКО, Е. Я. КУРИЛЕНКО (ДНУЖТ)

Кафедра «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, к. 125, г. Днепропетровск, 49010, Украина, тел.: +380563731547, e-mail: andremu@i.ua, etemdijt@gmail.com, ustimenko.1979@gmail.com, elena.kyrylenko@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0002-5629-4058, orcid.org/0000-0003-3884-5589, orcid.org/0000-0003-2984-4381, orcid.org/0000-0003-2045-917X

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ ТЯГОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Эта статья посвящена проблемам математического моделирования электротехнических устройств. В работе представлена компьютерная модель многообмоточного тягового трансформатора с учетом его активных сопротивлений, индуктивностей и емкостей. Параметры модели получены с использованием подтвержденных методик. Указанная модель создана в программной среде Matlab Simulink. Адекватность модели подтверждена результатами испытаний трансформатора. На этой основе проведено моделирование работы

© Муха А. М. та ін., 2018

трансформатора для токов повышенной частоты в диапазоне 50 Гц – 100 кГц. Результаты показывают отсутствие опасных резонансных режимов в данном диапазоне. В дальнейшем данная модель может быть использована в расчетах электромагнитных процессов на всех участках электротехнического комплекса «тяговый трансформатор – силовой преобразователь – асинхронный двигатель» с целью обеспечения электромагнитной совместимости нового электроподвижного состава, что является необходимым условием его внедрения на железных дорогах Украины.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, электромагнитные процессы, параметры электрической цепи, тяговый трансформатор, современный электроподвижной состав, высокая частота, электрическая емкость, Matlab, Simulink.

UDC 621.311.3

A.M. MUKHA, O.I. BONDAR, D.V. USTIMENKO, O.Y. KURYLENKO (DNURT)

Department of Electrical Engineering and Electromechanics, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, office 125, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, tel.: +380563731547, e-mail: andremu@i.ua, etendiit@gmail.com, ustimenko.1979@gmail.com, elena.kyrilenko@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0002-5629-4058, orcid.org/0000-0003-3884-5589, orcid.org/0000-0003-2984-4381, orcid.org/0000-0003-2045-917X

COMPUTER SIMULATION OF THE INCREASED FREQUENCY MODES FOR THE TRACTION TRANSFORMER

This paper deals with the problems of mathematical modeling of electrical devices. In this work the computer model of the multi-winding traction transformer with values of its resistances, inductances and capacities is shown. The parameters of model have obtained by the approved techniques. The specified model is created in Matlab Simulink software environment. The adequacy of model is confirmed with transformer test results. On this basis simulation of transformer operation for currents of the increased frequency in the range of 50 Hz – 100 kHz is carried out. Results show absence of the dangerous resonant modes in this range. In the future time described model may be used for calculation of electromagnetic processes in all subcircuits of electric system "traction transformer – power converter – asynchronous drive" for modern electric rolling stock electromagnetic compatibility providing. It is necessary condition for it's implementation on the Ukrainian railways.

Keywords: computer simulation, electromagnetic processes, parameters of electric circuit, traction transformer, modern electric rolling stock, high frequency, electrical capacity, Matlab, Simulink.

Received 24.01.2018; accepted in revised form 27.03.2018.