

DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.02.074>

УДК 621.311

МОДЕЛЮВАННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ СИСТЕМ ЗОВНІШНЬОГО ТА ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ ЗМІННОГО СТРУМУ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМАХ

Журнал	Технічна електродинаміка
Видавець	Інститут електродинаміки Національної академії наук України
ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Випуск	№ 2, 2020 (березень/квітень)
Сторінки	74 – 85

Автори

Д.Р. Земський*, **В.Г. Сиченко****, докт.техн.наук, **Д.О. Босий*****, докт. техн. наук
Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна,
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010, Україна,

e-mail: d.zemskyi@ukr.net, elpostz@i.ua, dake@i.ua

* ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0003-4322-0727>

** ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0002-9533-2897>

*** ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0003-1818-2490>

В статті пропонується підхід сумісного моделювання несиметричних режимів роботи систем тягового та зовнішнього електропостачання на основі пофазного представлення трифазних електричних мереж. Підхід дозволяє врахувати різну конфігурацію підключення тягових підстанцій до живлячої мережі, нелінійні параметри магнітної системи трансформатора через апроксимацію залежності магнітної проникності від напруженості магнітного поля, нелінійні параметри електротягового навантаження через

використання активної та обмінної характеристик електровозу однофазного змінного струму. За допомогою аналітичного визначення параметрів досліджуваної системи математична модель формується у вигляді системи диференціальних рівнянь, зведених до нормальної форми. Використання модульного принципу у вигляді визначення уніфікованого блоку дозволяє побудувати математичну модель системи будь-якої складності, оскільки виділені таким чином подібні елементи описуються типовими рівняннями. Сумісне моделювання систем тягового та зовнішнього електропостачання дозволяє виконувати розрахунки та аналіз показників якості електричної енергії, проводити дослідження, направлені на перевірку роботи системи у разі впровадження нового обладнання чи нових технічних рішень в усталених та перехідних режимах. Бібл. 29, рис. 6, таб. 2.

Ключові слова: математичне моделювання, фазні координати, тягове електропостачання, система зовнішнього електропостачання, несиметричний режим, навантаження, активна та обмінна характеристика.

Надійшла	24.10.2018
Остаточний варіант	16.01.2020
Підписано до друку	26.02.2020

УДК 621.311

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СИСТЕМ ВНЕШНЕГО И ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ

Журнал
Издатель

Технічна електродинаміка
Институт электродинамики Национальной академии наук Украины

ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Выпуск	№ 2, 2020 (март/апрель)
Страницы	74 – 85

Авторы

Д.Р. Земский, В.Г. Сыченко, докт. техн. наук, **Д.А. Босый**, докт. техн. наук
Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В.
Лазаряна,
ул. Лазаряна, 2, Днепро, 49010, Украина,
e-mail: d.zemskyi@ukr.net, elpostz@i.ua, dake@i.ua

В статье предлагается подход к совместному моделированию систем тягового и внешнего электроснабжения в несимметричных режимах работы на основе пофазного представления трехфазных электрических сетей. Использование такого подхода позволяет учесть различную конфигурацию подключения тяговых подстанций к питающей сети, нелинейные параметры магнитной системы трансформатора через аппроксимацию зависимости магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля и нелинейные параметры электротяговой нагрузки путем использования активной и обменной характеристик электровоза однофазного переменного тока. С помощью аналитического определения параметров исследуемой системы возможно сформировать математическую модель в виде системы дифференциальных уравнений, приведенных к нормальной форме. Использование модульного принципа в виде определения унифицированного блока позволяет построить математическую модель системы разной сложности, поскольку выделенные таким образом подобные элементы описываются типовыми уравнениями. Совместное моделирование систем тягового и внешнего электроснабжения позволяет выполнять расчеты и анализ показателей качества электрической энергии, проводить исследования, направленные на проверку работы системы при внедрении нового оборудования или новых технических решений в установившихся и переходных режимах. Библ. 29, рис. 6, таб. 2.

Ключевые слова: математическое моделирование, фазные координаты, тяговое электроснабжение, система внешнего электроснабжения, несимметричный режим, нагрузка, активная и обменная характеристика.

Поступила	24.10.2018
Окончательный вариант	16.01.2020
Подписано в печать	26.02.2020

Література

1. Жаркін А.Ф., Палачов С.О., Новський В.О. Нормативно-правове регулювання якості напруги в електричних мережах з джерелами розосередженої генерації. Київ: Інститут електродинаміки НАН України, 2018. 161 с.
2. Гриб О.Г. Качество электрической энергии. Т. 1. Экономико-правовая база качества электрической энергии в Украине и Евросоюзе. Харьков: ПП «Граф-Ікс», 2014. 300 с.
3. Кузнецов В.Г., Шполянський О.Г., Яремчук Н.А. Узагальнений показник якості енергії в електричних мережах і системах. *Технічна електродинаміка*. 2011. № 3. С. 46-52.
4. Шидловський А.К., Новський В.О., Жаркін А.Ф. Стабілізація параметрів електричної енергії в трифазних системах напівпровідниковими коригуючими пристроями. Київ : ІЕД НАН України, 2013. 378 с.
5. Жаркін А.Ф., Новський В.О., Малахатка Д.О. Комплексне покращення якості електроенергії та забезпечення електробезпеки в локальних системах електропостачання при застосуванні гібридних фільтрокомпенсуючих перетворювачів. *Технічна електродинаміка*. 2018. № 1. С. 69-77. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.01.069>
6. Bollen M.H.J., Gu I.Y.H. Signal processing of power quality disturbances. John Wiley & Sons, 2006. 861 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/0471931314>
7. Сиченко В.Г., Саєнко Ю.Л., Босий Д.О. Якість електричної енергії у тягових мережах електрифікованих залізниць. Дніпропетровськ: Стандарт-Сервіс, 2015. 340 с.
8. Земський Д.Р. Експериментальне дослідження якості електроенергії у споживачів, що живляться від лінії ДПР 27,5 кВ залізниць змінного струму. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2018. № 1 (136). С. 66-71.
9. Косарев А.Б. Основы теории электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения переменного тока. Москва: Интекст, 2004. 272 с.
10. Василянський А.М., Мамошин Р.Р., Якимов Г.Б. Совершенствование системы тягового электроснабжения железных дорог, электрифицированных на переменном токе 27,5 кВ, 50 Гц. *Железные дороги мира*. 2002. № 8. С. 40-46.
11. Laughton M.A. Analysis of unbalanced polyphase networks by the method of phase coordinates. Part 1. System representation in phase frame of reference. *Proceedings of the*

IEEE

. 1968. Vol. 115.

No 8. Pp. 1163-1172. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1049/piee.1968.0206>

12. Berman A., Wilsun Xu. Analysis of faulted power systems by phase coordinates. *IEEE Transactions on Power Delivery*

. 1998. Vol. 13. Issue 2. Pp. 587-595.

DOI:

<https://doi.org/10.1109/61.660932>

13. Лосев С.Б., Чернин А.Б. Вычисление электрических величин в несимметричных режимах электрических систем. Москва: Энергоатомиздат, 1983. 528 с.

14. Берман А.П. Расчет несимметричных режимов электрических систем с использованием фазных координат. *Электричество*. 1985. № 12. С. 6-12.

15. Бернас С., Цёк З. Математические модели элементов электроэнергетических систем. Москва: Энергоиздат, 1982. 312 с.

16. Закарюкин В.П., Крюков А.В., Авдиенко И.М. Моделирование систем тягового электроснабжения, оснащенных симметрирующими трансформаторами. Москва, Берлин: Директ-Медиа, 2017. 166 с.

17. Кириленко О.В., Сегеда М.С., Буткевич О.Ф., Мазур Т.А. Математичне моделювання в електроенергетиці. Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2010. 608 с.

18. Веприк Ю.Н. Представление силовых трансформаторов в математических моделях установившихся несимметричных режимов электрических систем. *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ"* : темат.

вып.: Проблемы усовершенствования электрических машин и аппаратов. Теория и практика. 2012. № 28. С. 3-11.

19. Александров Г.Н., Шакиров М.А. Трансформаторы и реакторы. Новые идеи и принципы. Санкт-Петербург: Политехн. ун-т, 2006. 204 с.

20. Зирка С.Е., Мороз Ю.И., Мороз Е.Ю. Модель перемагничивания изотропной электротехнической стали в переходном режиме. *Технічна електродинаміка*. 2012. № 4. С. 8-12

21. Зевеке Г.В. Основы теории цепей. Москва: Энергия, 1975. 752 с.

22. Пентегов И.В., Красножон А.В. Универсальная аппроксимация кривых намагничивания электро-технических сталей. *Електротехніка і електромеханіка*. 2006. № 1. С. 66-70.

23. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2010, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2014. 32 с.

24. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. К.: Госстандарт Украины, 1999. 32 с.

25. Молотиллов Б.В. Холоднокатаные электротехнические стали. Москва: Металлургия, 1989. 168 с.

26. Ершевич В.В. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. Москва: Энергоатомиздат, 1985. 352 с.

27. Сапожников А.В. Конструирование трансформаторов. Москва: Госэнергоиздат, 1959. 361 с.

28. Zemskyi D.R., Bosyi D.O. Energy Efficient Modes of Distribution Power Supply Systems with Different Vector Group of Transformer. *IEEE 6th International Conference on Energy Smart*

Systems, Ukraine, Kyiv, April, 17-19. 2019. Pp. 64-69. DOI: <https://doi.org/10.1109/ESS.2019.8764246>

29. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. Москва: Наука, 1983. 416 с. /p>

[PDF](#)



Цей твір ліцензовано на умовах [Ліцензії Creative Commons Із Зазначенням Авторства — Некомерційна — Без Похідних 4.0 Міжнародна](#)