

УДК 629.423.1:621.314

А. М. МУХА – д. т. н, доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, andremu@i.ua

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПІДВИЩЕНОЇ ЧАСТОТИ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ З СИСТЕМИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ ДІЛЬНИЦЬ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ПОСТІЙНИМ СТРУМОМ

Статтю представив д. т. н., проф. Л. В. Дубинець

Пристрої сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) слугують для регулювання руху поїздів на перегонах і станціях залізниць. Такі пристрої позитивно впливають на роботу залізниць у цілому, забезпечуючи підвищення їх пропускної здатності та організацію безпеки руху поїздів. Рейкові кола (РК) є основним елементом будь яких пристроїв СЦБ, діяльність якого закладено в роботу всіх автоматичних і телемеханічних систем регулювання руху поїздів. Їх працездатність у значній мірі визначає надійність роботи вказаних пристроїв і, що найголовніше, забезпечує безпеку руху поїздів [1...6].

Вплив на надійність роботи кіл СЦБ проявляється в тому, що у вторинну обмотку дросель - трансформаторів індукуються гармоніки тягового струму і при неточному налаштуванні захисного фільтра потрапляння їх у колійне реле може призвести до спотворення його коду та перекриття сигналу. Крім того, амплітуда цих гармонік значно зростає при струмозніманні через дугу під час ожеледі, величина якої може значно перевищувати допустимі значення [1...6].

У тяговій мережі постійного струму основними гармоніками шестипульсової схеми випрямлення є частоти 300, 600, 900, і 1200 Гц [4...6]. Від них РК частотою 25 або 50 Гц захищені досить надійно. Це досягається завдяки застосуванню в схемах таких

РК реле типу ДСШ, які не вимагають додаткових заходів щодо захисту від впливу тягового струму, оскільки потрапляння у колійну обмотку останнього струму іншої частоти призводить до його відпускання.

Допустимі рівні гармонійних складових мережевого струму електрорухомого складу представлені в [4], де визначені допустимі смуги частот, амплітудні значення та характер впливу останніх на сигнальні кола пристроїв СЦБ (табл. 1).

Запропонований автором у [7] статичний перетворювач тягової електропередачі багатосистемного електровоза (рис. 1) представляє собою багатоланкову структуру і є досить складною системою, а тому моделювання роботи цієї системи у номінальних та нестационарних режимах є складною задачею.

Для визначення рівня електромагнітної сумісності запропонованого статичного перетворювача тягової електропередачі багатосистемного електровоза з колами СЦБ проведемо моделювання основних режимів його роботи.

Для точного опису фізичних процесів в електромеханічних системах потрібне складання нелінійних диференціальних рівнянь. Навіть невелика відмінність у схемі може призвести до того, що моделюватися буде, по суті, новий об'єкт, для якого необхідно вводити нові припущення, наближення тощо [8,9,10].

Таблиця 1

Допустимі рівні гармонійних складових мережевого струму
електрорухомого складу

Частота сигнального струму, Гц	Допустимі параметри струму електровоза					
	Смуга частот, Гц	При безперервній дії (більше 0,3 с)		При імпульсній дії		
		Допустимий рівень пере- шкод, Аефф	Характер впливу	Допустимий рівень пере- шкод, Аефф	Тривалість імпульсу, с	Період прохо- дження, с
25	19-31			11,6	менше 0,3	0,3...0,9
	19-31			26,6	менше 0,3	більше 0,9
	21-29	1,0	небезпечне			
	19-21	11,6	що заважає			
	29-31	11,6	що заважає			
50	40-60			5,0	менше 0,1	1,0...6,0
	40-60			9,6	менше 0,1	більше 6,0
	46-54	1,3	небезпечне			
	40-46	5,0	що заважає			
	54-60	5,0	що заважає			
175	167-184	0,4	що заважає	0,4	менше 0,25	менше 0,25
	145-167	40,0		3,3	менше 0,25	більше 0,25
	184-205	40,0				
420	408-432	0,3	що заважає	0,3 1,2	менше 0,2 менше 0,2	0,25...1,5 більше 1,5
480	468-492					
580	568-592					
720	708-732					
780	768-792					
4545	4508- 4583	0,18	що заважає	0,18 0,8	менше 0,2 менше 0,2	0,25...1,5 більше 1,5
5000	4963- 5038					
5555	5518- 5593					

На практиці при моделюванні статичних перетворювачів необхідно враховувати властивості силових ключів, перетворювачів, їх характеристики. Тому для моделювання використовують такі способи, які дозволяють перейти від диференціальних рівнянь, котрі описують фізичні процеси, до їх практичної реалізації: моделювання тиристорних перетворювачів за середніми зна-

ченнями випрямленої електрорушійної сили; моделювання з урахуванням однонаправленості вентильного кола; моделювання тиристорних перетворювачів за миттєвими значеннями випрямленої е.р.с.; моделювання тиристорних перетворювачів методом переключаючих функцій; моделювання тиристорних перетворювачів методом змінних опорів [8,10,11].

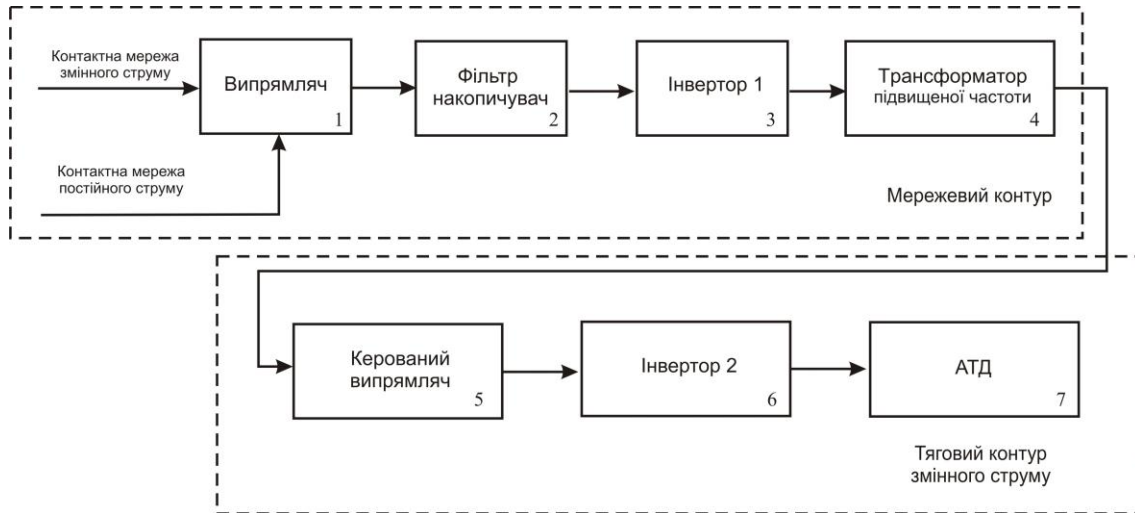


Рис. 1. Узагальнена структурна схема тягової електропередачі з асинхронними тяговими двигунами та ланкою підвищеної частоти

Останній метод отримав найбільш широке застосування на практиці, оскільки ця методика моделювання ґрунтується на описі перехідних процесів нелінійними диференціальними рівняннями, в яких вентилі представлені змінними опорами, що змінюють свою величину в залежності від величини і напрямку струму, або тільки від напрямку струму, а це в найбільшій мірі відповідає реальним фізичним процесам.

Отримання рівнянь для дослідження впливу тягового перетворювача багатосистемного електровоза на кола СЦБ є досить складним, це вимагає використання спеціалізованих пакетів прикладних програм для моделювання розробленої системи на персональній обчислювальній машині. Складну задачу обробки таких математичних моделей, на думку автора, найбільш доцільно покласти на потужний обчислювальний процесор такий як MatLab. Для аналізу властивостей електромеханічних та електротехнічних пристроїв широко застосовується складова частина пакету MatLab – програма імітаційного моделювання Simulink [12...14].

Імітаційна модель перетворювача підвищеної частоти на базі трифазних трансформаторів підвищеної частоти (3Ф), який забезпечує живлення чотирьох тягових асинхронних двигунів (4А) індивідуального

приводу (М1) на базі чотирьох груп однофазних інверторів (4м3а), що індивідуально живлять фази трифазних трансформаторів підвищеної частоти, представлена на рис. 2.

У представленій моделі силовий модуль позначено як тягове плече, до складу якого входить мережевий випрямляч, три однофазних інвертори, тяговий трансформатор підвищеної частоти, тяговий інвертор та навантаження. Кожен з цих елементів є типовим для системи імітаційного моделювання.

За рахунок зсуву фаз за напругою у роботі між кожним з силових модулів (на рис. 2 тягове плече) на кут $2\pi/n$, де n – кількість трифазних силових модулів у перетворювачі, реалізується метод еквівалентних фаз, який зменшує негативний вплив перетворювача на живлючу мережу [15].

Для перетворювальної структури типу 4А-М1-3Ф-4м3а зсув напруг еквівалентних фаз складатиме $360/4=90$ ел. градусів, при цьому зсув фаз між кожним з трьох однофазних інверторів, які входять до складу мережевого контуру кожного з модулів, складатиме 120 ел. градусів, тобто реалізовано класичну трифазну систему. Зсув забезпечується режимом роботи системи керування однофазних інверторів мережевого контуру перетворювача.

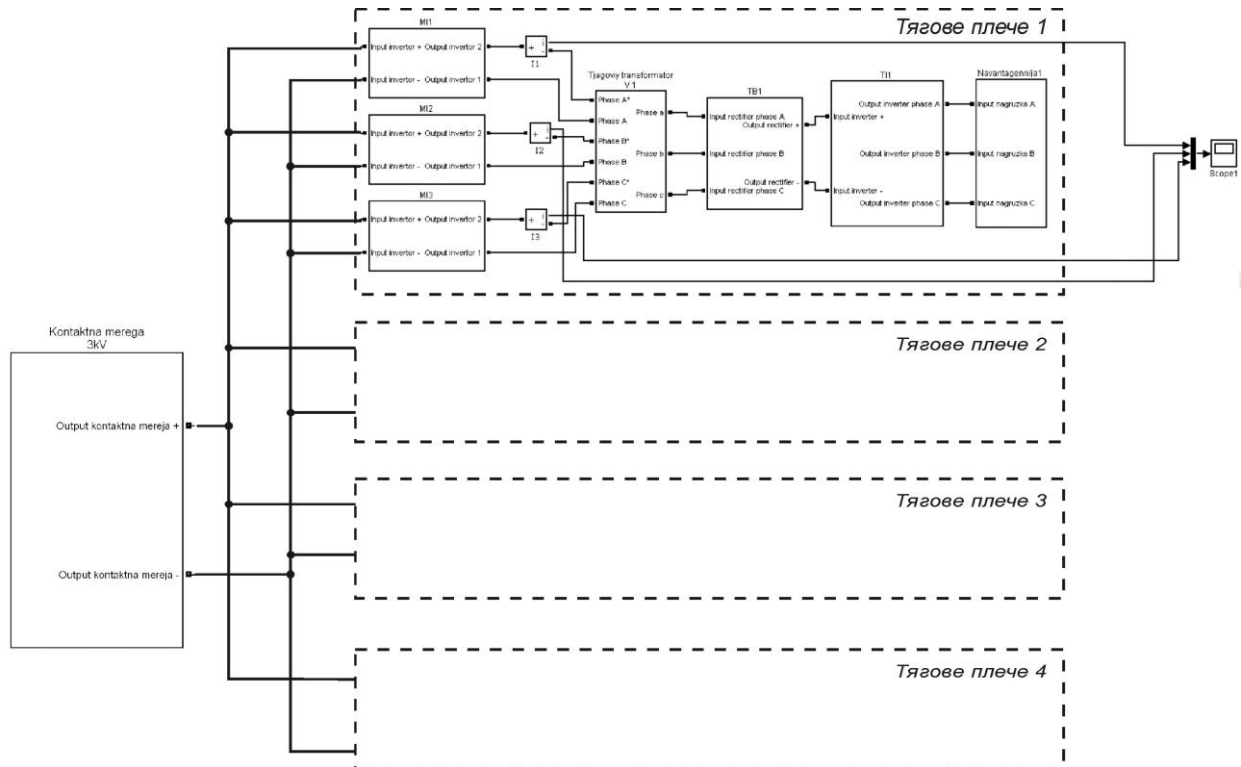


Рис. 2. Модель для імітаційного моделювання статичного перетворювача 4А-М1-3Ф-4м3а при живленні від мережі постійного струму 3 кВ

Система Simulink дозволяє проаналізувати гармонійний склад зафіксованих на осцилографах при моделюванні сигналів. Зокрема у представленій роботі проаналізовано гармонійний склад вхідного струму запропонованого тягового статичного перетворювача з ланкою підвищеної частоти, при струмову навантаженні перетворювача, еквівалентному тяговим двигунам АД914 (СТА1200).

Як критерій взаємодії перетворювача з рейковими колами використовуються значення амплітуд гармонійних складових вхідного струму перетворювача, які надалі порівнюються з даними табл. 1.

На рис. 3 представлено порівняння рівня нормованих гармонік вхідного струму перетворювача типу 4А-М1-3Ф-4м3а при живленні від постійного струму напругою 3 кВ з їх допустимими значеннями (базова гармоніка 25 Гц).

Як бачимо з рис. 3 досліджуваний перетворювач підвищеної частоти у номінальному режимі роботи, фактично не впливає

на суміжні кола системи автоматики електрифікованих постійним струмом ділянок залізниць, оскільки отримані під час моделювання значення амплітуд гармонік пульсуючого вхідного струму не перевищують їх допустимі значення, які встановлені діючими нормативними документами, щодо безпеки на залізничному транспорті.

Бібліографічний список

1. Кондратьева, Л. А. Устройства железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст] / Л. А. Кондратьева. – М.: Транспорт, 1983. – 232 с.
2. Казаков, А. А. Станционные устройства автоматики и телемеханики [Текст] / А. А. Казаков, В. Д. Бубнов, Е. А. Казаков – М.: Транспорт, 1990. – 431 с.
3. Брылеев, А. М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей [Текст] / А. М. Брылеев, Ю. А. Кравцов, А. В. Шишляков – М.: Транспорт, 1978. – 344 с.

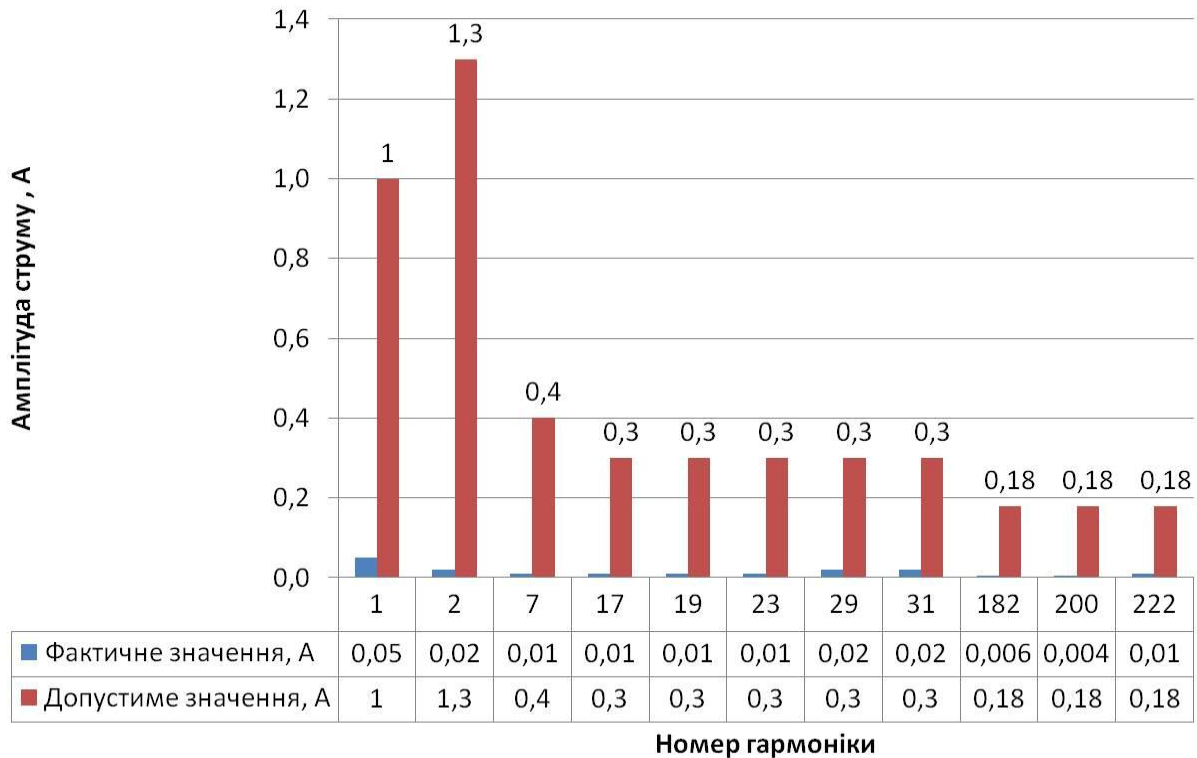


Рис. 3. Порівняння рівня нормованих гармонік вхідного струму перетворювача типу 4А-М1-3Ф-4м3а при живленні від мережі постійного струму 3 кВ з їх допустимими значеннями

4. Разгонов, А. П. Оценка электромагнитной совместимости централизованного энергоснабжения пассажирских поездов и устройств СЦБ [Текст] / А. П. Разгонов, В. Т. Вислогузов // Транспорт. Збірник наукових праць. – 2002. – №12. – С. 137-145.
5. Щербак, Я. В. Анализ эффективности работы пассивных энергетических фильтров тяговых подстанций постоянного тока [Текст] / Я. В. Щербак, И. В. Слободчиков // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. - №6. – с. 27-31.
6. Бадер, М. П. Электромагнитная совместимость [Текст] / М. П. Бадер – М.: УМК МПС, 2002. – 638 с.
7. Муха, А. М. Розвиток наукових основ створення тягових електропередач багатосистемних електровозів: дис. докт. техн. наук: 05.22.09 – електротранспорт / А. М. Муха. Дніпропетровськ, 2011. – 1 т. – 362 с.
8. Дунаевский, С. Я. Моделирование элементов электромеханических систем [Текст] / С. Я. Дунаевский, О. А. Крылов, Л. В. Мазия. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 304 с.
9. Моделювання електромеханічних систем [Текст] / О. П. Чорний, А. В. Луговий, Д. Й. Родькін та ін. – Кременчук, 2001. – 376 с.
10. Стульников, В. И. Моделирование полупроводниковых преобразователей [Текст] / В. И. Стульников,

- Е. В. Колчев. – К.: Техніка, 1971. – 108 с.
11. Богрый, В. С. Математическое моделирование тиристорных преобразователей [Текст] / В. С. Богрый, А. А. Русских. – М.: Энергия, 1972. – 184 с.
12. Дьяконов, В. П. Matlab 6.5 SP1/7.0 Simulink 5/6 в математике и моделировании [Текст] / В. П. Дьяконов – М.: Солон-Пресс, 2005. – 576 с.
13. Бутова, О. А. Особенности применения пакета Matlab/Sim Power Systems для моделирования устройств силовой электроники [Текст] / О. А. Бутова, В. В. Замаруев // Технічна електродинаміка. Тем. випуск «Силова електроніка та енергоефективність» – 2010. – ч. 2. – с. 247-251.
14. Струтинський, В. Б. Математичне моделювання стохастичних процесів у системах приводів: [монографія] / В. Б. Струтинський, О. В. Колот. – Краматорськ: ЗАТ «Тираж-51», 2005. – 530 с.
15. Флора, В. Д. Полупроводниковые устройства [Текст] / В. Д. Флора, Ю. С. Коробков. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 64 с.
- Ключові слова:** перетворювач, електро-воз, електромагнітна сумісність, частота.
- Ключевые слова:** преобразователь, электро-воз, электромагнитная совместимость, частота.
- Keywords:** converter, electric locomotive, electromagnetic compatibility, frequency.
- Надійшла до редколегії 07.10.2013