

УДК 629.423:621.313.33

Ю. С. БОНДАРЕНКО – аспірант, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ТЯГОВИХ СТАТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ З СИСТЕМАМИ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ

Статтю представив д. т. н., доц. А. М. Муха

На перспективному електрорухомому складі (ЕРС), що вводиться в експлуатацію на залізницях України, зараз все більш широко застосовують системи тягових електродвигунів з трифазними асинхронними двигунами. Однією з головних складових частин такої системи є статичний перетворювач частоти (ПЧ), використання якого, головним чином, пов'язане з розширенням діапазону регулювання частоти обертання тягових двигунів, зі збереженням високого моменту на валу, та підвищенням показників надійності за рахунок відсутності щітково-колекторного вузла [1]. Проте, поряд з численними перевагами, що мають місце у такій системі, існує ряд недоліків, ключовим з яких є підвищений електромагнітний вплив ПЧ на суміжні пристрої зв'язку, сигналізації та систем керування. При цьому зміна умов експлуатації перетворювача, його режиму роботи, призводить до зміни діапазону генерованих перешкод.

Отже, з точки зору оцінки електромагнітної взаємодії ПЧ з суміжними слабкострумними системами, постає необхідність дослідження процесу функціонування останнього з урахуванням особливостей його роботи в умовах експлуатації ЕРС.

Очевидно, що зміна режиму роботи перетворювача, та відповідно його параметрів відбувається відповідно до зміни режиму руху поїзда. Згідно [2] розрізняють три основних режими: режим тяги – коли поїзд

переміщується під дією сил, що створюються тяговими двигунами та за наявності зчеплення коліс з рейками; режим вибігу – коли рух поїзда визначають сили опору, що діють на нього та режим гальмування – коли поїзд рухається в умовах наявності штучно створеної гальмівної сили.

Таким чином, наявність вказаних вище особливостей вимагає повноцінного дослідження електромагнітної сумісності (ЕМС) тягового статичного перетворювача не лише при його роботі в кожному з режимів окремо, а й їх сукупності – тобто в умовах повноцінного руху ЕРС по перегонам.

Як відомо, дослідження будь-якої системи виконується за допомогою широкого спектру засобів. На сьогоднішній день, в якості потужного інструменту для виконання досліджень будь яких явищ або систем широко застосовують теорію подібності та моделювання [3]. Остання об'єднує в собі значний спектр методів загальної класифікація яких, в залежності від повноти та точності реалізації досліджуваних процесів, наведена на рис. 1.

Згідно до наведеної класифікації для виконання аналізу будь яких явищ або систем, відповідно до вимог щодо результату, пропонується використовувати 1 з 6 груп методів моделювання: наглядне моделювання; символічно-знакове моделювання; математичне уявне; натурне; фізичне; аналого-цифрове моделювання.

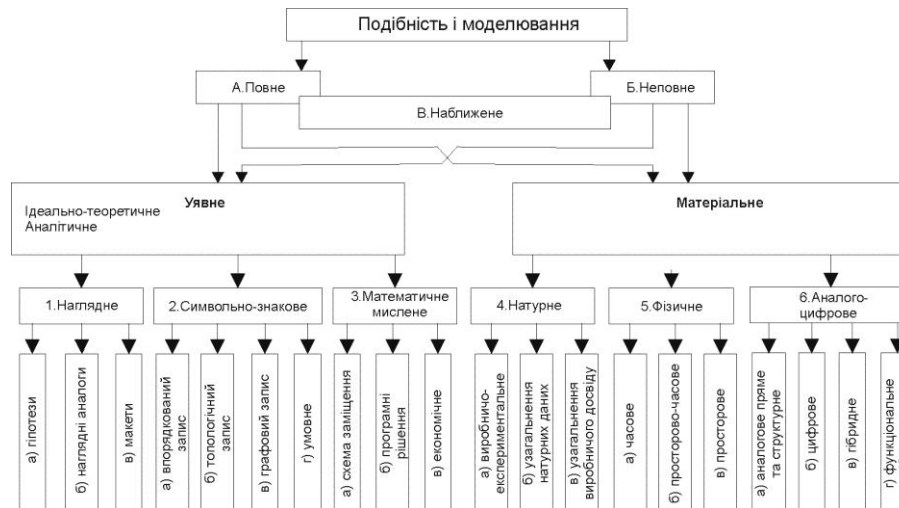


Рис. 1. Основна класифікація методів моделювання та подібності

В таких умовах постає питання вибору, серед запропонованих, такого методу досліджень, який би найбільш адекватно дозволив дослідити ті явища та процеси, що протікають в реальній системі та досягти максимальної відповідності результатів.

Як відомо, функціонування будь якого електрообладнання, зокрема ліній СЦБ та зв'язку електрифікованих залізниць, постійно супроводжується наявністю сторонніх впливів електромагнітного та кондуктивного характеру, що узагальнює поняття електромагнітної сумісності. Ці процеси мають випадковий характер та вимагають складного математичного опису. В таких умовах проведення досліджень з використанням методів моделювання, що відносяться до виду уявного (рис. 1) не є достатнім, адже при цьому достатньо складно повністю охарактеризувати весь спектр процесів, що відбуваються в досліджуваній системі. Таким чином, проведення подальших досліджень можливе лише з використанням тих груп методів моделювання, що відносяться до матеріального виду.

Серед визначених вище особливої уваги заслуговують групи натурального та фізичного моделювання. Застосування аналого-цифрового моделювання не передбачає збереження фізики досліджуваного процесу [3], а полягає у його описі за допомогою математичних рівнянь, що згідно визначе-

них вище умов функціонування досліджуваних систем є недостатнім.

Виконання натурального моделювання передбачає виконання досліджень безпосередньо на досліджуваному об'єкті при наявності штучно створених умов його функціонування [3]. На думку автора перед проведенням натурних досліджень необхідно перевірити робочі гіпотези у лабораторних умовах на масштабних моделях.

При фізичному моделюванні дослідження проводяться на установках, що характеризуються фізичною подібністю з досліджуваним явищем або системою [3]. Таким чином, за характеристиками моделі можна отримати всі характеристики оригіналу шляхом перерахунку через масштабні коефіцієнти. Останнє твердження вказує на доцільність використання фізичного моделювання при виконанні необхідних досліджень, а отже на необхідність створення фізичної моделі реальної системи.

Виконання фізичного моделювання, як і натурального, вимагає штучного створення умов функціонування об'єкта максимально наближених до реальних. Електрорухоми́й склад є складною електромеханічною системою, де у сукупності з реалізованою силою тяги, що приводить її у рух, існують сили протидії – сили опору руху. Останні, згідно [2] умовно розділяють на дві складові: одну, що залежить від типу рухомого

складу та швидкості його руху, та другу, що залежить від плану і профілю колії, а також від особливих умов руху.

З точки зору дослідження ЕМС статичного перетворювача з системами електрифікованих залізниць найбільшої уваги заслуговує саме друга складова сил опору руху. Очевидно, що динамічна зміна профілю колії призводить до відповідної динамічної зміни сили тяги, яку розвиває ЕРС та його швидкості. В свою чергу це обумовлює відповідну динамічну зміну струмового навантаження тягової електропередачі і в окремість тягового двигуна та перетворювача.

В реальних умовах експлуатації рухомого складу, при веденні поїзду по перегону, зміна сили тяги та швидкості у відповідності до фактичних показників опору руху та ефективності гальм здійснюється локомотивною бригадою, шляхом перемикання позицій контролера машиніста з забезпеченням необхідних величин прискорення та уповільнення [4]. В залежності від конкретних умов частота зміни положення рукоятки контролера машиніста може досягати 60 раз на годину [4]. Даний факт теж не можна не враховувати при виконанні досліджень, адже він є додатковою складовою частиною загальної динаміки руху ЕРС.

Таким чином, визначені вище особливості роботи досліджуваного обладнання встановлюють наступні вимоги до моделі:

- забезпечення створення відповідного тягового зусилля;
- реалізація динаміки зміни навантаження ЕРС з урахуванням зміни профілів колії;
- реалізація процесу керування ЕРС контролером машиніста в умовах зміни навантаження.

З урахуванням даних вимог було створено експериментальну установку, що імітує роботу перспективного, на сьогоднішній час, асинхронного тягового електроприводу, принципова електрична схема якої зображена на рис. 2.

Представлена установка складається з трьох основних функціональних блоків, кожен з яких має своє функціональне призначення відповідно до встановлених вимог.

Основною складовою частиною даної моделі асинхронного тягового електроприводу є Блок 1 (на схемі не показано), функціональне призначення якого – забезпечення створення необхідного тягового зусилля, а відповідно і виконання першої з визначених вище вимог. До складу даного блоку входить статичний перетворювач частоти та асинхронний двигун. В якості першої складової частини обрано статичний перетворювач Hitachi SJ100-NFE. Такий вибір пояснюється можливістю регулювання широкого спектру параметрів, що в свою чергу сприяє селективності проведення досліджень. Так, керування автономним інвертором напруги здійснюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції, частота якої змінюється в досить широких межах 0,5...16 кГц. Даний параметр є визначним при оцінці показників ЕМС адже від нього залежить спектр генерованих перешкод. Загалом це дозволяє значно розширити діапазон статистичних даних, що будуть отримані під час проведення експериментального дослідження.

Параметри перетворювачів даної серії наведено у [5].

Окремо варто відмітити можливість реалізації даними пристроями режимів рекуперативного та динамічного гальмування. Така їх особливість дозволяє, в процесі моделювання, в повній мірі реалізувати режими гальмування ЕРС та оцінити характер електромагнітних процесів, що супроводжують даний режим.

Загалом, серія SJ100 перетворювачів частоти фірми Hitachi призначена для регулювання швидкості асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором потужністю 0,2...4,0 кВт. В нашому випадку використовується перетворювач типу SJ100-007NFE.

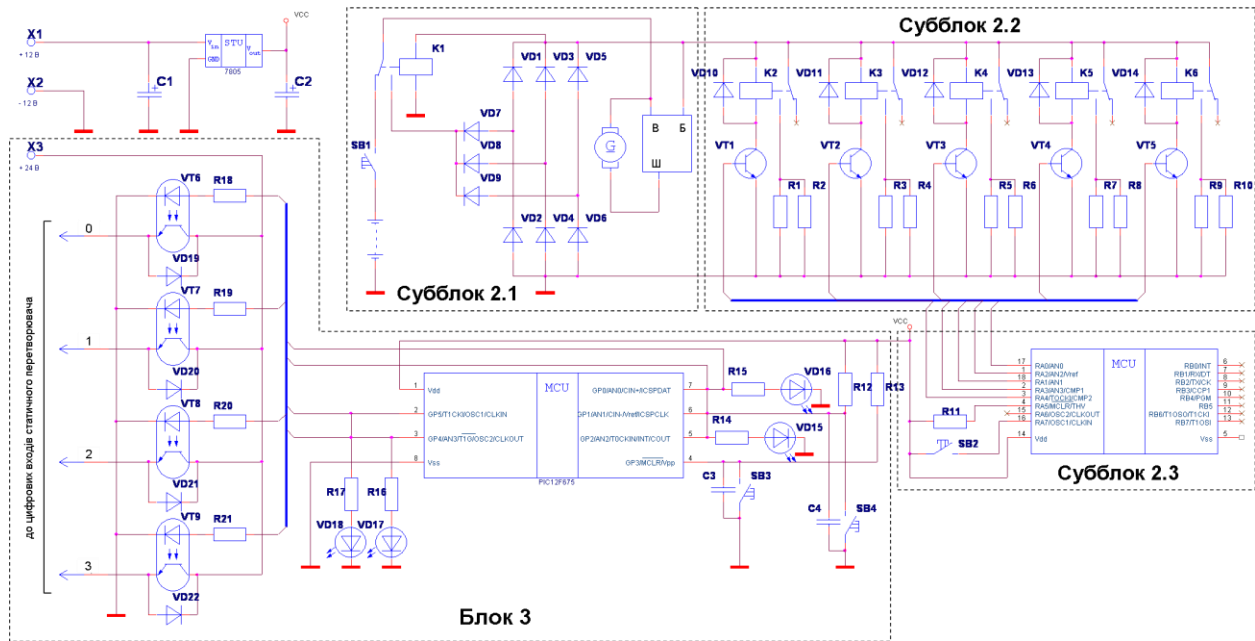


Рис.2. Принципова електрична схема створеної експериментальної установки

Дана модель дозволяє регулювати швидкість асинхронних двигунів потужністю до 0,75 кВт при максимальній струмовій завантаженості двигуна до 4 А [5]. Крім того Hitachi SJ100-007NFE обладнаний низкою релейних, аналогових та цифрових входів, що дозволяє використовувати систему зворотного зв'язку для здійснення керування роботою перетворювача та всієї системи в цілому. Тим самим створюється можливість для виконання вимоги реалізації процесу керування ЕРС контролером машиніста в умовах зміни навантаження.

В якості другої складової частини Блоку 1 використано трифазний асинхронний двигун типу АИР71А2 [6] потужністю 750 Вт, з номінальною частотою обертів ротора 2820 об/хв.

Блок 2 експериментальної установки, що являє собою навантаження системи «статичний перетворювач – асинхронний двигун» (Блок 1), призначений для створення гальмівного моменту двигуна та реалізації динаміки зміни навантаження ЕРС з урахуванням зміни профілів колії. Даний блок, як видно з рис. 2, складається з трьох функціональних субблоків, кожен з яких має своє функціональне призначення, що визнача-

ється вказаною сукупністю вимог до системи навантаження.

Так, субблок 2.1, що є основою для її створення, виконано з використанням автомобільного генератора типу 37.3701 [7]. Такий вибір, на відміну від традиційної системи [8], обумовлений можливістю реалізації значного струмового навантаження останнього (до 55 А) а відповідно і досягнення максимального моменту опору асинхронного двигуна. При цьому генератор постійного струму, який дозволив би реалізувати навантаження такого порядку, наприклад 2ПН112МУХЛ4 [6], є більшим за габаритними розмірами, а тому вимагає застосування додаткової системи передач.

Генератор типу 37.3701 являє собою трифазну синхронну машину з вбудованим блоком випрямляча та електронним регулятором напруги. Наявність останнього дозволяє підтримувати постійність напруги на виході, а відповідно і струмову завантаженість всієї системи, що є додатковою перевагою у порівнянні з машиною постійного струму.

Збудження генератора, в момент запуску виконується шляхом короткочасного під'єднання акумуляторної батареї до кле-

ми «В» електронного регулятора напруги через кнопку SB1. Після досягнення номінальної частоти обертання обмотка збудження відключається від батареї за допомогою електромагнітного реле K1, і живиться напругою генератора від трьох додаткових діодів VD7...VD9. При цьому керування регулятором здійснюється через вивід «Б», підключений до «плюсової» клеми вихідної напруги генератора «30» [6]. Згаданий вище вбудований блок випрямляча реалізований на діодах VD1...VD6 та являє собою трифазну мостову схему випрямлення.

Для створення струмового навантаження генератора та відповідного гальмівного моменту на валу асинхронного двигуна до складу структури Блоку 2 окремо введено субблок 2.2, основу якого складають пасивні електричні елементи. В нашому випадку в якості останніх використано лампи розжарювання потужністю 20 Вт, об'єднані в паралельні гілки з однаковим струмовим навантаженням. Кожна з паралельних гілок містить коло комутації, реалізоване на електромагнітних реле K2...K6, що дозволяє реалізувати динаміку зміни навантаження всієї системи. Керування послідовністю ввімкнення реле здійснюється додатковою системою керування, субблок 2.3, реалізованою на транзисторах VT1...VT5 та мікроконтролері серії PIC16F628 [9]. Узагальнений алгоритм роботи останнього наведено на рис. 3.

Використання транзисторів, що працюють в ключовому режимі, ввімкнених в коло котушки керування реле обумовлено відносно низькою струмопропускною здатністю виводів мікроконтролера.

Так, максимальна величина струму порту вводу/виводу становить лише 25 мА [9], у той час як струм, що протікає через котушку реле – 35 мА.

Блок 3 створеної системи моделювання роботи тягового асинхронного електроприводу реалізує імітацію процесу зміни швидкості руху контролером машиніста в умовах динамічної зміни навантаження.

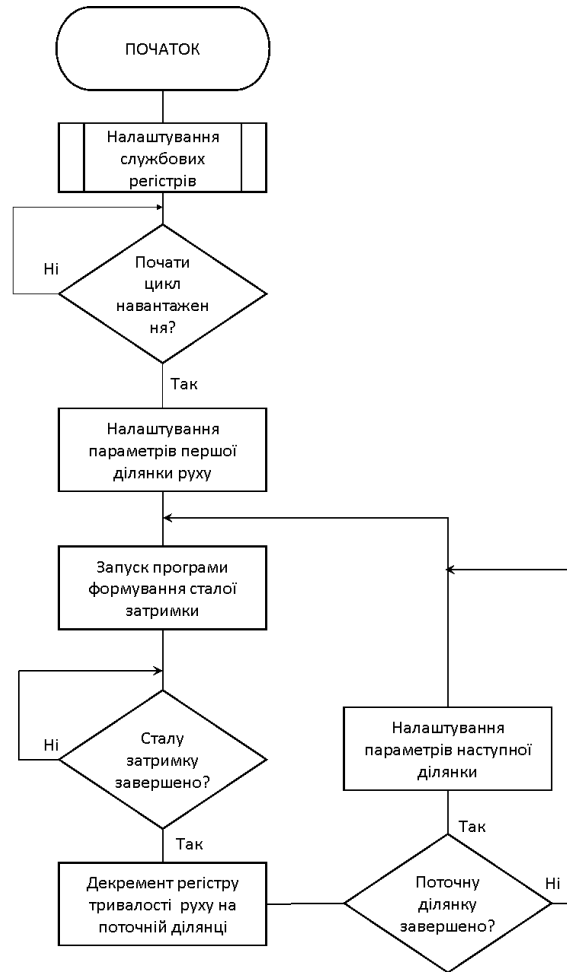


Рис. 3. Алгоритм роботи системи керування блоком навантаження

В основі роботи даного обладнання лежить використання, як і у Блоці 2, мікропроцесорної системи керування. В даному випадку її реалізація здійснена на мікроконтролері серії PIC12F675 [10], алгоритм роботи якого наведено на рис. 4.

Вибір мікроконтролера молодшого сімейства обумовлено необхідністю реалізації вузького кола задач – передачі стану порту вводу/виводу на керуючі входи перетворювача частоти, без використання додаткових апаратних засобів (таймерів, аналого-цифрових перетворювачів тощо). При цьому максимальна довжина коду керування, відповідно до функціональних можливостей перетворювача частоти [5], складає 4 біти двійкового коду, в той час як гранична можливість контролера становить 6 бітів. Це вказує на відсутність необхідності

використання контролерів більш старшого сімейства з більшою розрядністю портів вводу/виводу.

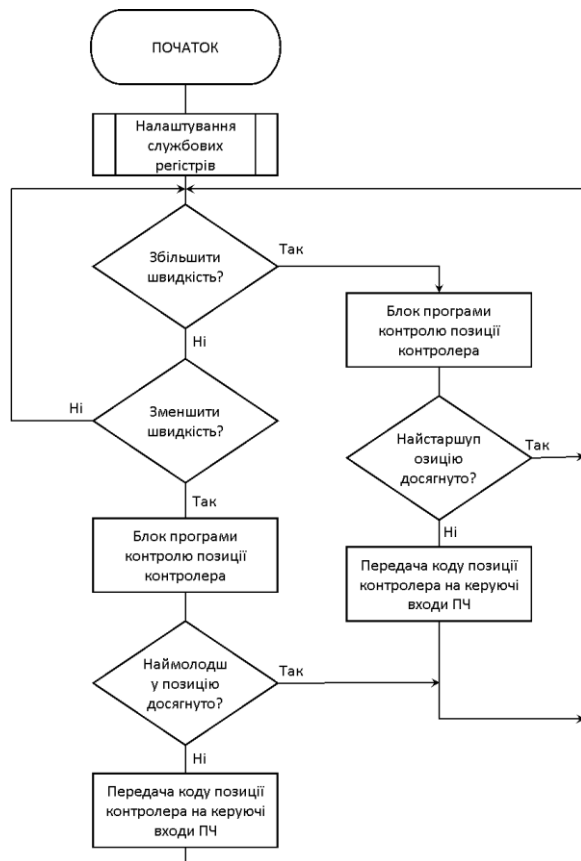


Рис.4. Алгоритм роботи системи керування Блоком 3

Додатково до складу Блоку 3 введено систему оптоелектронної розв'язки. Таке рішення забезпечує надійну узгодженість роботи різноманітних оптоелектронних кіл, сприяє реалізації односторонньої передачі сигналів та, що найголовніше, забезпечує високу стійкість до впливу перешкод [11], що в умовах роботи статичних перетворювачів будь якої потужності є актуальним.

З метою практичної перевірки відповідності створеної експериментальної установки визначеним до неї вимогам здійснено візуалізацію процесів, що супроводжують її функціонування, шляхом її запуску та контролю відповідних параметрів. В результаті цього отримано осцилограми зміни струму перетворювача в умовах динамічної зміни навантаження (рис. 5, рис. 6). При цьому,

характер зміни струму варіюється в залежності від використання різних законів частотного керування [1].

Наведені осцилограми чітко відображають динамічну зміну струму перетворювача в умовах зміни навантаження, що вказує на виконання визначеної вище вимоги реалізації динаміки зміни навантаження ЕРС з урахуванням зміни профілів колії.

Загалом виконання запуску експериментальної установки, зняття та візуальний аналіз отриманих осцилограм дозволяє стверджувати, що створений пристрій, повністю відповідає встановленим до неї вимогам та може бути використаний для подальших досліджень.

Бібліографічний список

1. Статичні перетворювачі тягового рухомого складу [Текст]/ Ю. П. Гончаров, М. В. Панасенко, О. І. Семененко, М. В. Хворост. – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – 192 с.
2. Розенфельд, В. Е. Теория электрической тяги [Текст] / В. Е. Розенфельд, И. П. Исаев, Н. Н. Сидоров – М.: Транспорт, 1983. – 328 с.
3. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) [Текст] / В. А. Веников – М.: Высш.шк., 1976. – 479 с.
4. Вождение поездов: пособие машинисту [Текст] / Р. Г. Черепашенцев, В. А. Бирюков, В. Т. Понкрашов, А. Н. Судиловский. – М.: Транспорт, 1994. – 304 с.
5. Преобразователи частоты Hitachi: инструкция по эксплуатации. Серия SJ100-NFE/HFE [Текст]: Hitachi SJ100 Series Inverter. – 1999. – 82 с. .
6. Копылов, И. П. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. [Текст] / И. П. Копылов, Б. К. Клоков. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
7. Автомобили «Спутник» ВАЗ 2108, 2109: устройство и ремонт [Текст] / В. А. Вершигора, А. П. Игнатов, К. В. Новокшенов, К. Б. Пятков. – М.: Транспорт, 1992. – 240 с.

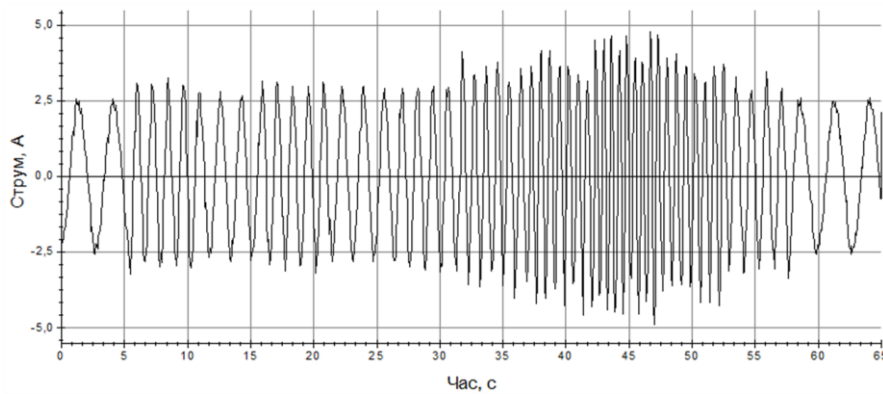


Рис.5. Осцилограма зміни струму перетворювача при векторному способі керування

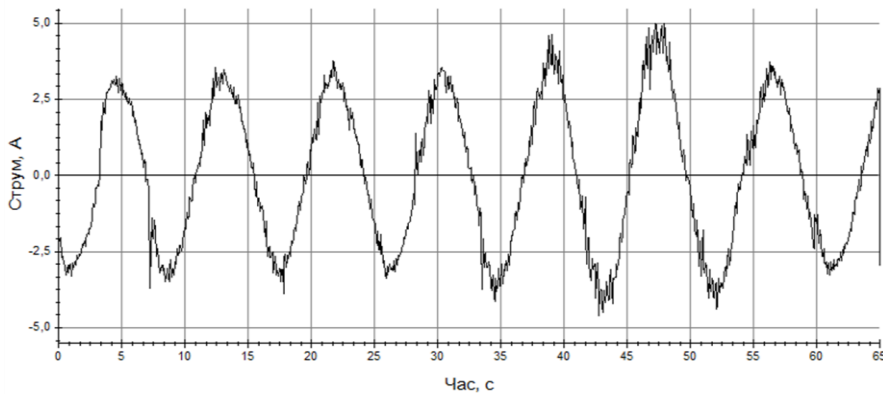


Рис.6. Осцилограма зміни струму перетворювача при скалярному способі керування

8. Котеленц, Н. Ф. Испытания и надежность электрических машин [Текст] / Н. Ф. Котеленц, Н. Л. Кузнецов. – М.: Высш. шк., 1988. – 232 с.
9. PIC16F628.Однокристалльные 8-разрядные FLASH CMOS микроконтроллеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.microchip.ru/files/d-sheets-rus/pic16f62x.pdf>. – Назва з екрану
10. PIC12F675.Однокристалльные 8-разрядные FLASH CMOS микроконтроллеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.microchip.ru/files/d-sheets-rus/pic12f629_675.pdf. – Назва з екрану
11. Гершунский, Б. С. Основы электроники и микроэлектроники [Текст] / Б. С. Ге-

ршунский– К.: Вища школа, 1987. – 422 с.

Ключові слова: електромагнітна сумісність, електрорухомий склад, експериментальна установка, трифазний асинхронний двигун.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, электроподвижной состав, экспериментальная установка, трехфазный асинхронный двигатель.

Keywords: electromagnetic compatibility, electric rolling stock, experimental device, three-phase asynchronous motor.

Надійшла до редколегії 27.09.2012