

УДК 629.423.32:621.314.57

БОНДАРЕНКО Ю. С. (ДНУЗТ).

Особливості експериментального дослідження електромагнітної сумісності статичних перетворювачів електрорухомого складу

Безпосереднє виконання експериментального дослідження з використанням створених моделей досліджуваних систем є безумовно ключовим етапом будь яких досліджень. При цьому правильне планування експерименту, з точки зору його раціональності, дозволяє встановити оптимальний час його проведення, зменшити можливі похибки, отримати оптимальну кількість даних для отримання тих чи інших закономірностей та досягти максимального контролю за зовнішніми та внутрішніми впливами [1].

Згідно [2] планування експерименту – комплекс дій направлених на ефективну постановку дослідів, що передбачає виконання наступної послідовності етапів:

- встановлення мети експерименту;
- встановлення умов проведення експерименту – визначення переліку необ-

хідного обладнання, вибір виду випробувань тощо;

- виявлення та вибір вхідних та вихідних параметрів;

- встановлення необхідної точності результатів вимірів;

- формування плану та безпосереднє проведення експерименту – визначення кількості та порядку випробувань, способу реєстрації даних тощо;

- статистична обробка результатів експерименту;

- аналіз та розробка рекомендацій на основі отриманих результатів.

Метою даного експериментального дослідження є визначення розподілу вищих гармонійних складових тягового струму, залежно від відповідних значущих факторів, з послідуочим аналізом

характеру його впливу на суміжні системи електрифікованих залізниць.

Головним інструментом для виконання такого роду досліджень є створена експериментальна установка [3], що імітує роботу перспективного, на сьогоднішній час, тягового асинхронного електроприводу. При цьому характер досліджень потребує аналізу даних графічного характеру – графіків зміни струму та напруги, що вимагає використання поряд з пристроями безпосереднього контролю параметрів системи (амперметрів, вольтметрів) електронного осцилографу. В якості останнього пропонується використовувати модуль зчитування аналогових та цифрових даних ADA1406, багатоканальний 14-розрядний аналого-цифровий перетворювач якого дозволяє здійснювати обробку вхідних даних одночасно з 8 диференційних каналів та 16 каналів з загальною «землею» [4]. Це розширює можливості контролю, у разі потреби, додаткових параметрів, а можливість підключення до ПК через інтерфейс USB створює умови для прискорення обробки експериментальних даних.

Визначення вхідних та вихідних (контрольованих) параметрів здійснюється виходячи з реальних умов експлуатації рухомого складу, закладених в основу створення експериментальної установки. Виходячи з цього вхідними параметрами є необхідне тягове зусилля та зміна навантаження відповідно до зміни профілів колії, а вихідними – характер зміни струму та напруги у вхідному контурі системи.

Формування плану та безпосереднє проведення експерименту є найскладнішою задачею експериментального дослідження що безпосередньо визначає точність та адекватність отриманих результатів. Даний етап передбачає виконання наступного ряду завдань:

- визначення інтервалів відліку експериментальних даних;
- визначення необхідної кількості дослідів;
- безпосереднє проведення експерименту, шляхом врахування впливу всіх

значущих факторів та умов функціонування досліджуваної системи.

Визначення кінцевої сукупності експериментальних точок являється необхідним та важливим етапом планування експерименту. Існує два основних критерії, на основі яких здійснюється вибір експериментальних точок [1].

а) Відносна точність даних на різних ділянках області досліджуваних значень. В багатьох випадках отримані дані мають неоднакову точність на різних ділянках області досліджуваних значень. В такому випадку кількість експериментальних точок, що викликає найбільший сумнів, збільшують, користуючись загальним правилом, що пов'язує підвищення точності з числом додаткових відліків [1] – 4 точки дають вдвічі більшу точність, а 9 – втричі більшу точність ніж одна.

б) Характер експериментальної функції. В більшості інженерних експериментів характер експериментальної функції повністю або частково відомий. В таких випадках найбільш доцільно обрати план експерименту з однаковим інтервалом між експериментальними точками. Проте такий підхід не завжди себе виправдовує, особливо для процесів, характер яких змінюється протягом експерименту.

В таких випадках прийнятним є розділення експериментальних функцій на ділянки з однаковою зміною значень даних функцій, з послідовним визначенням інтервалів відліку експериментальних даних. Так, в загальному випадку, якщо ΔS – ділянка експериментальної кривої, то для будь якої неперервної диференційованої функції загальний вираз для ΔS має вигляд [1]:

$$\Delta S \left[1 + \left(\frac{dY}{dX} \right)^2 \right]^{1/2} \Delta X \quad (1)$$

Згідно [4] для отримання повної картини розподілу визначених критеріїв оцінки електромагнітної сумісності (ЕМС) в реальних умовах функціонування залізниць, а саме K_U та $K_{U(n)}$, встановлено необхідний інтервал реєстрації проміжних

вихідних даних – коефіцієнтів K_{U_i} та $K_{U(n)i}$, що становить не менше 9 значень останніх за кожні 3с спостережень, тобто 3 значення коефіцієнтів за 1с або 0,33с. Враховуючи, що загальний час визначення критеріїв ЕМС становить 24 години [5] загальна кількість експериментальних даних становить:

$$N = \frac{24 \cdot 60 \cdot 60}{0,33} = 261818 \quad (2)$$

В нашому випадку такий підхід є не раціональним з точки зору планування експерименту з двох причин: по-перше, використання однакового інтервалу між експериментальними точками не завжди себе виправдовує особливо у випадках нелінійної зміни досліджуваної функції [1]; по-друге, обробка такого числа експериментальних даних є досить громіздкою, що є неприйнятним згідно теорії раціонального планування експерименту [2].

Виходячи з (2) очевидно, що встановлення раціональної кількості експериментальних даних можливе за рахунок зміни інтервалу реєстрації проміжних вихідних даних та зменшення загального часу проведення експерименту шляхом встановлення раціональної кількості дослідів.

В загальному випадку досліджувана функція – залежність зміни напруги або струму від часу, змінюється за синусоїдальним законом, що дозволяє визначити

інтервали точок відліку вихідних даних користуючись (1). Приймаючи, у випадку дослідження зміни напруги, що:

$$U_{\text{мер}} = U_m \sin(\omega t), \quad (3)$$

вираз (1) для ділянки досліджуваної функції:

$$\Delta U \left[1 + \left(\frac{d(U_m \sin(\omega t))}{dt} \right)^2 \right]^{1/2} \Delta t. \quad (4)$$

Якщо прийняти, що між двома заданими точками відліку при t_n береться інтервал Δt_n то кожен послідовний інтервал відліку, за умови $\Delta U_n \approx \Delta U_{n+1}$, знаходиться зі співвідношення:

$$\Delta t_{n+1} = \Delta t_n \frac{\sqrt{U_m^2 \omega^2 (\cos(\omega t_n))^2 + 1}}{\sqrt{U_m^2 \omega^2 (\cos(\omega t_{n+1}))^2 + 1}}. \quad (5)$$

Вибір ділянки експериментальної функції ΔU з метою охоплення максимального діапазону значень останньої зі збереженням вимог раціональності досліджень та з урахуванням умови $\Delta U_n \approx \Delta U_{n+1}$ пропонується проводити згідно рис. 1.

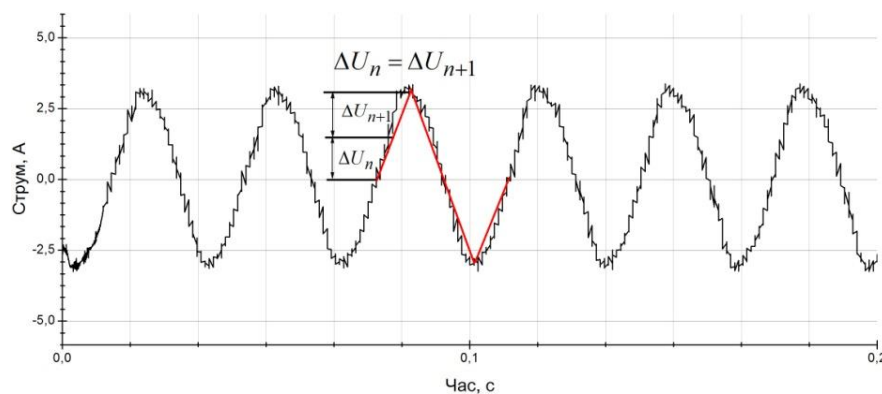


Рис.1. Вибір досліджуваної ділянки експериментальної функції

В даному випадку вибір здійснено для осцилограми зміни струму, отриманої в результаті тестового запуску експериментальної установки (Рис. 2).

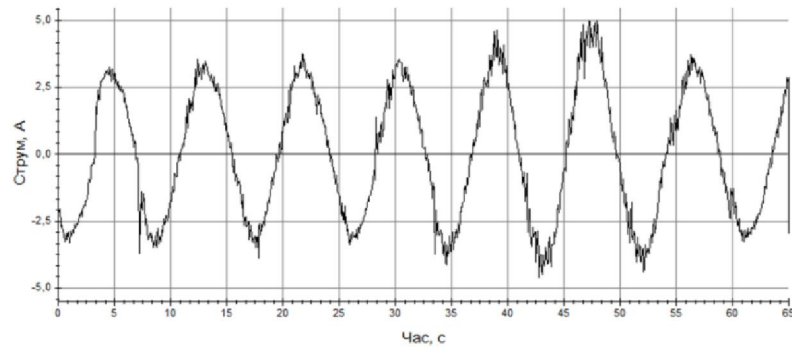
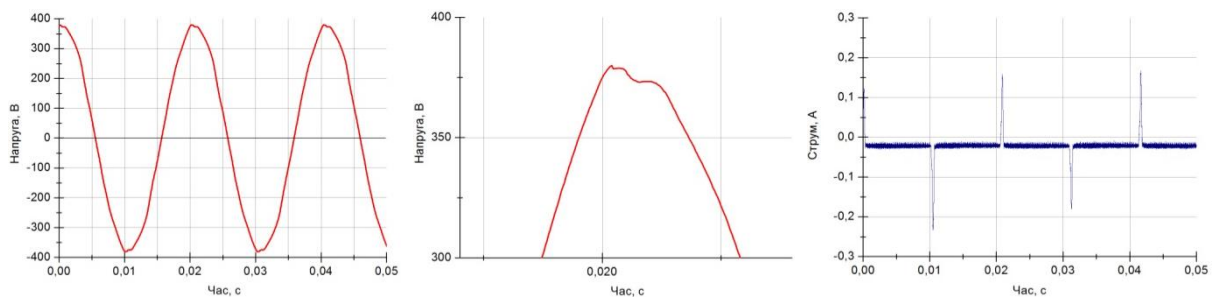


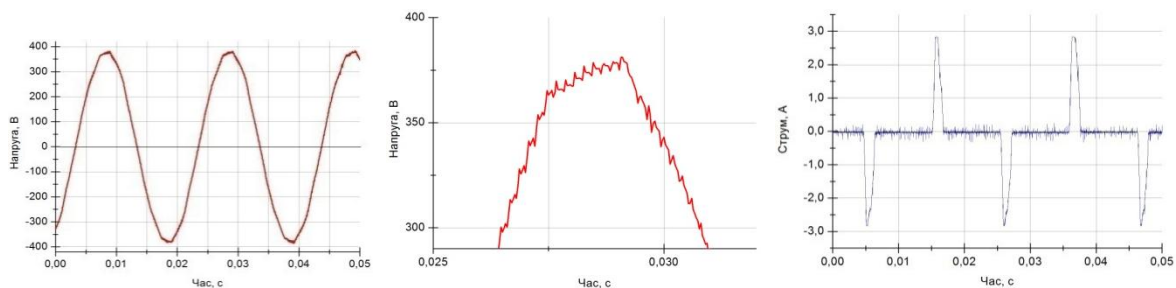
Рис.2. Осцилограма зміни вихідного струму перетворювача

З метою узагальненої оцінки характеру досліджуваних процесів здійснено їх попередній аналіз за різних варіацій параметрів моделі досліджуваної системи. В результаті отримано осцилограми зміни струму та напруги у вхідному контурі системи для випадків коли остання знахо-

диться у стані спокою (Рис. 3,а) або функціонує з відповідними налаштуваннями (Рис. 3,б). На рис. 3,б система функціонує зі зміною навантаження та частотою модуляції вихідної напруги перетворювача 5кГц.



а)



б)

Рис.3. Осцилограми зміни струму та напруги у вхідному контурі – система функціонує з частотою модуляції вихідної напруги 5кГц

а – система знаходиться у стані спокою;

б – система функціонує з періодичною зміною навантаження та частотою модуляції вихідної напруги перетворювачем частоти 5кГц.

Аналіз отриманих даних дозволяє стверджувати, що незалежно від внутрішніх налаштувань параметрів моделі форма осцилограм досліджуваних процесів за-

лишається незмінною. Зміні підлягає лише їх спектральний склад (Рис. 4, 5).

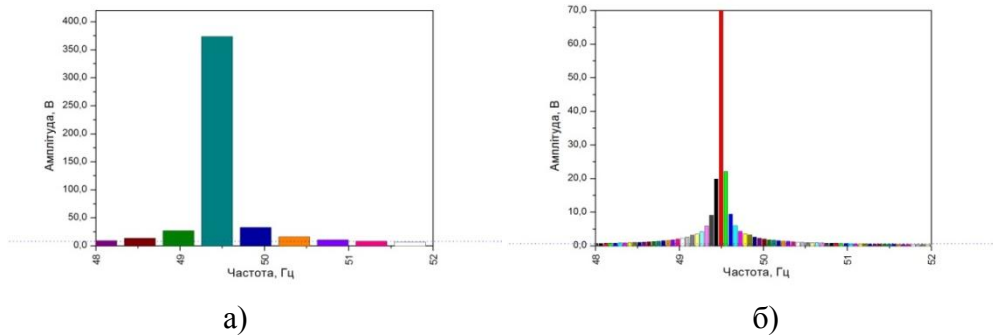


Рис.4. Спектральний склад осцилограми напруги вхідного контуру

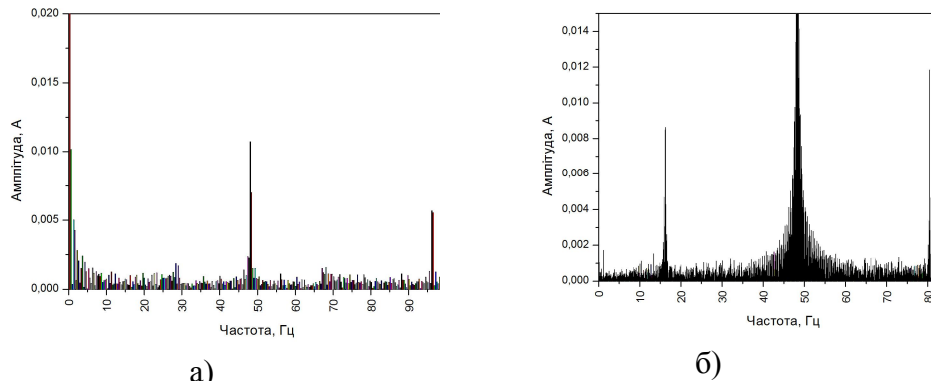


Рис.5. Спектральний склад осцилограми струму вхідного контуру

На рис. 4, 5: а – система знаходиться у стані спокою; б – система функціонує з періодичною зміною навантаження та частотою модуляції вихідної напруги перетворювачем частоти 5кГц.

Останнє твердження дозволяє визначити інтервали точок відліку вихідних

даних що будуть єдиними для аналізу досліджуваних процесів за будь якої комбінації параметрів моделі. Деякі результати такого вибору, здійсненого з попереднім визначенням ділянки експериментальної функції згідно методики (Рис. 1), наведено у табл.1.

Таблица 1

Визначення інтервалів точок відліку вихідних даних

Номер інтервалу	Значення Δt_{n+1} , с	Початкова точка відліку, с	Кінцева точка відліку, с
2482	0.00362	7.07295	7.07658
2483	0.00377	7.07658	7.08034
2484	0.00393	7.08034	7.08427
2485	0.00411	7.08427	7.08838
2486	0.00433	7.08838	7.09271
2487	0.00459	7.09271	7.0973
2488	0.0049	7.0973	7.10219
2489	0.00528	7.10219	7.10747
2490	0.00577	7.10747	7.11325
2491	0.00644	7.11325	7.11968
2492	0.0074	7.11968	7.12708
2493	0.00894	7.12708	7.13602
2494	0.01199	7.13602	7.14801
2495	0.02222	7.14801	7.17022
2496	0.03759	7.17022	7.20781
2497	0.00683	7.20781	7.21465

Згідно теорії математичної статистики кількість дослідів, які необхідно здійснити для отримання закономірності, що дозволяє найбільш повно охарактеризувати будь яке фізичне явище, визначається зі співвідношення [6]:

$$N = \sigma^k, \quad (6)$$

де σ – кількість експериментальних точок, які необхідно зняти для забезпечення достовірності досліду, k – число величин, що підлягають зміні при проведенні дослідів. Мінімальна кількість експериментальних точок, що дозволяє забезпечити достовірність досліду $\sigma_{min} = 5$ [6].

У випадку дослідження електромагнітної сумісності статичного перетворювача з системами електрифікованих залізниць в якості змінних факторів або величин, що будуть визначати характер впливу, пропонується використовувати частоту модуляції сигналу перетворювачем частоти та зміну струмового навантаження системи за рахунок зміни профілів руху, як ключові фактори формування електромагнітного впливу [7, 8, 9]. З урахуванням останніх тверджень загальна кількість необхідних дослідів становить:

$$N = \sigma^k \approx 5^2 \approx 25 \quad (7)$$

Проведені аналітичні обґрунтування процесу подальшого дослідження ЕМС статичного перетворювача з системами електрифікованих залізниць дозволили визначити основні умови реалізації експерименту з використанням експериментальної установки. Встановлена раціональна кількість досліджень створює можливість значно скоротити час їх проведення, а визначені інтервали розрахунку експериментальних даних – зменшити час їх обробки з досягненням максимальної адекватності отриманих результатів.

Список літератури

1. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк. – М.: Мир, 1972. – 385 с.
2. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. – Минск: изд-во БГУ, 1982. – 302 с.
3. Бондаренко Ю. С. Экспериментальная установка для исследования электромагнитной сумисности тяговых статичных перетворювачів електрорухомого складу з системами електрифікованих залізниць // 36. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2012. – Вип. 31. – С.101–108
4. Модуль ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов ADA 1406: руководство пользователя.
5. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М., 1998. – 31 с.
6. Бойко, Н.Г. Теория и методы инженерного эксперимента: курс лекций / Н.Г. Бойко, Т.А. Устименко. – Донецьк: ДНТУ, 2009 – 155 с.
7. Лещёв А.И. Обеспечение электромагнитной совместимости электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом в системе электрической тяги постоянного тока: Автореферат диссертации на соискание степени кандидата технических наук. – Москва, 2003. – 28 с.
8. Бялонь А. Обеспечение электромагнитной совместимости электроподвижного состава постоянного тока нового поколения с устройствами железнодорожной автоматики в условиях польских железных дорог: Автореферат диссертации на соискание степени кандидата технических наук. – Москва, 2003. – 28 с.
9. Бочарников Ю.В. Электромагнитная совместимость системы тягового электроснабжения и аппаратуры рельсовых цепей при воздействии через питающие и сигнальные цепи: Диссертация кан-

дидата технических наук. – М.: МИИТ, 2008. – 176 с.

Анотації:

В статті наведено обґрунтування умов та особливостей подальшого експериментального дослідження електромагнітної сумісності статичних перетворювачів електрорухомого складу з системами електрифікованих залізниць з врахуванням забезпечення раціональності досліджень.

В статье приведено обоснование условий и особенностей дальнейшего экспериментального исследования электромагнитной совместимости статических преобразователей электроподвижного состава с системами электрифицированных железных дорог с учетом обеспечения рациональности исследований.

The article contains a description of the terms and features of further experimental research the electromagnetic compatibility of static converters of electric rolling stock with the systems of electrified railways in point of view of their rationality.