

— обґрунтування властивості перемішування стаціонарного УЛВП із неперервним часом.

Ключові слова: математична модель, інформаційний сигнал, умовний лінійний випадковий процес, ергодичність, перемішування.

Література

- [1] P. A. Pierre, “Central Limit Theorems for Conditionally Linear Random Processes,” *SIAM J. Appl. Math.*, vol. 20, no. 3, pp. 449–461, 1971, DOI: 10.1137/0120048.
- [2] M. Fryz and B. Mlynko, “Properties of Stationarity and Cyclostationarity of Conditional Linear Random Processes,” in *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, 2020, pp. 166–170. doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235415.
- [3] M. Fryz, L. Scherbak, B. Mlynko, and T. Mykhailovych, “Linear Random Process Model-Based EEG Classification Using Machine Learning Techniques,” in *Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023)*, 2023, vol. 3468, pp. 126–132.
- [4] V. Babak, A. Zaporozhets, S. Kovtun, Y. Kuts, M. Fryz, and L. Scherbak, “Information Provision for Monitoring the Current State of Electric Power Facilities,” in *Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control*, M. Bezuglyi, N. Bouraou, V. Mykytenko, G. Tymchyk, and A. Zaporozhets, Eds. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 283–309. doi: 10.1007/978-3-031-44347-3_8.
- [5] M. Fryz and B. Mlynko, “Property Analysis of Conditional Linear Random Process as a Mathematical Model of Cyclostationary Signal,” in *2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2022)*, 2022, vol. 3309, pp. 77–82.
- [6] M. Fryz, S. Kharchenko, and L. Scherbak, “Ergodicity and Mixing of Conditional Linear Random Processes in the Problems of Information Signal Modelling and Analysis,” in *3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2023*, 2023, vol. 3628, pp. 306 – 314.

УДК 681.518.3

ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Денисюк В. Ю.

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

E-mail: v.denysiuk@lntu.edu.ua

Структурна, конструктивна та алгоритмічна складність сучасних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) зумовлює вимогу гарантувати необхідний рівень їхньої метрологічної надійності, що визначає властивість засобів вимірювання (ЗВ) зберігати метрологічні характеристики з часом у межах нормативів, встановлених у певних режимах та умовах експлуатації, зберігання та транспортування.

Метрологічна надійність ІВС визначається метрологічною надійністю блоків, що входять у вимірювальний канал ІВС. Важливе місце у сучасній структурі ВК займає блок аналого-цифрового перетворення (АЦП). Основними вимогами, що пред’являються до цього блоку, є висока точність і широта

функціональних можливостей. Для кількісної оцінки метрологічної надійності блоку АЦП та ІВС загалом найчастіше використовується показник метрологічного ресурсу.

Важливою проблемою, що вирішується під час проектування ІВС та її блоків, що входять до вимірювального каналу ІВС, є проведення метрологічного аналізу, що полягає в узгодженні бази апіорних знань з вирішуваним завданням з оцінки точності і метрологічної надійності проєктованого вимірювального засобу з урахуванням його функціональних можливостей [1, 2].

Основна тенденція розвитку вимірювань в автоматизованому виробництві – це перехід до машинного контролю за адаптивними моделями, до застосування складніших інформаційно-вимірювальних та керуючих систем. У зв’язку з цим різко зростає значення метрологічних характеристик вимірювальних каналів, що враховують метрологічні характеристики всіх блоків, що включені у вимірювальний канал. Для того щоб отримати інформацію про параметри об’єкта, необхідно проводити комплексні вимірювання, а значення вимірюваної величини одержувати розрахунковим шляхом на основі відомих функціональних залежностей між нею та величинами, що піддаються вимірюванням [3]. Зазначені завдання успішно вирішуються за допомогою ІВС. ІВС доцільно розглядати з двох позицій: структурної та функціональної. Перша відображає інтегрування різних підсистем, широке використання засобів обчислювальної техніки, що призводить до виникнення систем із гнучкою структурою. Друга характеризує зростання числа функцій, що виконуються системою. При цьому центр ваги переноситься з вимірювальних функцій на інші інформаційні функції, пов’язані з використанням результатів вимірювань. В ІВС вимірювання нерозривно пов’язано з такими функціями як логічна обробка, аналіз результатів вимірювання та його виділення не завжди можливе. Найбільшою структурною одиницею ІВС, для якої можуть нормуватися метрологічні характеристики, є вимірювальний канал, який являє собою послідовне з’єднання ЗВ.

Таке з’єднання ЗВ дозволяє виконувати закінчену функцію від сприйняття вимірюваної величини до індикації або реєстрації результату вимірювань включно, або перетворення його на сигнал, зручний для введення у цифровий обчислювальний пристрій, що входить до складу ІВС. Однією із найважливіших характеристик якості ЗВ є метрологічна надійність. Під метрологічною надійністю розуміють властивість ЗВ, у тому числі ІВС, зберігати в часі метрологічні характеристики в межах встановлених норм при експлуатації в заданих режимах та умовах використання, технічне обслуговування, зберігання та транспортування. Отже, метрологічна надійність визначається характером та темпом зміни нормованих характеристик досліджуваного ЗВ.

Ускладнення вимірювальної апаратури, підвищені вимоги до точності, застосування якісно нових елементів та зростаюча роль ІВС у виробничому

процесі ставлять завдання розробки науково обґрунтованих методів оцінки метрологічної надійності проєктованих ІВС до найважливіших завдань теоретичної та практичної метрології.

Для оцінки метрологічної надійності ЗВ запропоновано низку показників: метрологічний ресурс, показник інформаційної надійності, показник частки вірних вимірювань з урахуванням поступових метрологічних відмов, показники частоти відмов та швидкості зміни частоти відмов, ймовірність метрологічної справності, коефіцієнт метрологічної справності та ряд інших.

Виходячи з особливостей кожного з названих вище показників, можна визначити базове положення, що приймається при оцінці метрологічної надійності: основним процесом, що визначає метрологічну надійність засобів вимірювання, є нестационарний випадковий процес зміни в метрологічній нормованій характеристики досліджуваного засобу вимірювання з монотонно змінюваним у часі її математичним очікуванням, що призводить до метрологічної відмови.

Таким чином, основою для побудови теорії метрологічної надійності ЗВ, у тому числі ІВС, має бути глибоке вивчення нестационарного випадкового процесу зміни в часі досліджуваної метрологічної характеристики процесу зростання в часі основної похибки досліджуваних ЗВ.

З фізичної точки зору старіння будь-якого ЗВ є процесом його взаємодії з навколишнім середовищем, що призводить до зміни його властивостей. В основному ці зміни відбуваються тому, що при виготовленні всіх елементів ЗВ їх матеріал піддається фізичним впливам, які призводять до тих чи інших механізмів накопичення енергії в речовині, при цьому з часом відбувається поступове вивільнення цих внесених запасів енергії – розсмоктуються внутрішні напруження, відбувається перекристалізація полімеризація матеріалів, релаксаційні процеси в них тощо.

Параметром, що в першу чергу визначає довгострокову метрологічну роботоздатність ЗВ, є величина запасу нормованої межі допустимої похибки ЗВ по відношенню до її фактичного значення. Зростання у часі похибки різних типів ЗВ підтверджується численними статистичними даними. Застосування математичного апарату теорії прогнозування розглядається як для апріорної оцінки метрологічної надійності засобу вимірювання при їх проєктуванні, так і для майбутньої після чергової метрологічної перевірки роботи засобу вимірювання протягом наступного міжповірочного інтервалу на етапі експлуатації.

Відомо, що отримання даних про процеси старіння ЗВ можливе експериментальним шляхом або методами математичного моделювання. Існує принципова складність експериментального оцінювання метрологічної надійності ЗВ, оскільки абсолютна більшість ЗВ має досить тривалий технічний ресурс. Визначити вид процесу зміни у часі метрологічної характеристики можна лише завдяки вивченню поведінки великої кількості екземплярів ЗВ одного типу протягом кількох років. Прискорені випробування ЗВ можливі

далеко не завжди.

У зв'язку з цим, при вирішенні задачі оцінки та прогнозування стану метрологічних характеристик, що визначають метрологічну надійність проєктованих ЗВ, все більшої ваги набуває математичне моделювання. Точність прогнозів, що виконуються на основі математичних моделей процесів зміни в часі метрологічних характеристик, буде природно обмеженою і повинна розглядатися тільки в ймовірнісному аспекті. Однак результати таких прогнозів можуть мати велике значення при вирішенні різних практичних завдань, а саме: визначення термінів профілактичних перевірок та необхідної кількості вимірювань метрологічних характеристик під час перевірок; обчислення можливого метрологічного ресурсу групи ЗВ на основі отриманих під час моделювання процесів зміни метрологічних характеристик; при розробленні рекомендацій щодо підвищення точності та метрологічної надійності ЗВ на етапі проєктування; розроблення ЗВ із заданим рівнем метрологічної надійності тощо.

Визначальною структурою в сучасних ІВС є АЦП. Питання оцінки та прогнозування метрологічної надійності блоків АЦП є виключно актуальними в даний час. Блок АЦП в структурі ІВС являє собою пристрій, який дозволяє здійснювати прийом та обробку сигналів аналогового типу з наступною трансформацією в цифрові послідовності чи цифровий код. Однак існує клас таких пристроїв, як високоінтегровані мікроконвертори, які суттєво дозволяють спростити побудову засобів вимірювань і формувати сигнал цифрової форми, минаючи класичні блоки, що є у структурі АЦП. У таких пристроях на єдиному кристалі інтегрована і вимірювальна частина, і частина цифрової обробки сигналу. Це дає можливість досить широко використовувати такі пристрої у засобах вимірювань та одержувати на основі їх ІВС, що володіють досить високим рівнем метрологічної надійності.

При побудові таких ЗВ та вище згаданих, основна ідеологія полягає у наступному підході, а саме перетворення сигналів безперервної структури у вигляді заданої функції $\xi(t)$, яка описує вхідний сигнал, у послідовність певних цифрових значень $\{\xi'(t_\phi)\}$, $\phi = 0, 1, 2, \dots$, що складаються з наступних процедурних операцій: подання безперервної функції деякою сукупністю значень дискрет при певних наборах аргументів; розбиття діапазону вимірюваної величини на визначене число рівнів із наступним округленням до найближчих рівнів.

Слід зазначити, що дослідження різних видів таких блоків з позиції оцінки їхнього метрологічного рівня на етапі проєктування безумовно пов'язане з використанням різних прийомів та методів математичного моделювання, що враховують у кожному конкретному випадку особливості їх функціонування та структури.

Таким чином, основним напрямом досліджень з оцінки метрологічної надійності ІВС і блоків, що входять до їх складу, у тому числі і АЦП, слід вважати використання прийомів математичного моделювання та методів

прогнозування для побудови адекватного та доступного для практичного використання математичного опису процесів зміни в часі метрологічних характеристик різних груп ЗВ, у тому числі і АЦП, а також вирішення на основі побудованих математичних моделей цілого ряду важливих у теоретичному та практичному відношенні задач.

Ключові слова: метрологічна надійність, проєктування, моделювання, блок АЦП.

Література

- [1] Н. М. Защепкіна, О. В. Шульга, О. А. Наконечний, *Метрологічне забезпечення інформаційно-вимірювальних систем: навч. посіб.* Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.
- [2] В. О. Яцук, Т. З. Бубела, М. М. Микійчук, Є. В. Походило, “Забезпечення метрологічної надійності в розпорошених вимірювальних системах”, *Вимірювальна техніка та метрологія*, Т. 79, Вип. 3, с. 71-82, 2018.
- [3] В. Ю. Денисюк, В. П. Симонюк, Ю. С. Лапченко, Б. І. Новосад, “Метрологічне забезпечення точності приладів активного контролю в процесі обробки”, *Перспективні технології та прилади: зб. статей*. Вип. 16, с. 38-47, 2020.

УДК 621.3.082.72

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРВИНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ФЛЮКСИМЕТРУ

Повишенко О. А., Паздрій О. Я., Баженов В. Г.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

E-mail: scela2472@gmail.com, olgapazdri@gmail.com, vgbazhenov@gmail.com

Необхідність вимірювання напруженості електростатичного поля у низькому вимірювальному діапазоні до 1 кВ/м обумовлено розвитком технології розробки інтегральних схем, розміри внутрішніх компонентів цих пристроїв зменшуються і стають більш чутливими до електростатичного розряду. В [1] показано тенденцію зниження порогу чутливості мікросхем до стандартизованих рівнів тестів CDM (модель зарядженого пристрою). Аналіз даних, показує, що очікується значне зниження цільових рівнів CDM електростатичного розряду, що потребує вимірювання напруженості електростатичного поля у низькому вимірювальному діапазоні (<50 В) для розробки систем моніторингу електростатики.

Виникнення електростатичного розряду між зарядженим тілом та електронним пристроєм призводить до його часткового або повного пошкодження. Це може мати серйозні наслідки, особливо під час експлуатації пристрою. Момент виникнення електричного розряду важко передбачити, а локалізувати об'єкт, що його накопичив досить складно. Тому, постає необхідність у вдосконаленні існуючих та розробці нових первинних