

УДК 621.317

О.М. Васілевський, к.т.н.

## ПОВІРКА ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ КОНТРОЛЮ НЕСИНХРОННОСТІ ОБЕРТАННЯ РОТОРІВ

Міністерство освіти і науки України, м. Київ, vasilevskiy@mon.gov.ua

*Розроблено структурну схему повірки вимірювальних каналів кутової швидкості призначених для автоматичного контролю несинхронності обертання роторів електромашин. Наведено вимоги, що ставляться перед зразковими вимірювальними каналами, підхід в оцінюванні результатів повірки вимірювальних каналів кутової швидкості та методику встановлення міжповірочного інтервалу.*

**Ключові слова:** повірка, зразковий вимірювальний канал, міжповірочний інтервал, методика визначення міжповірочного інтервалу.

### Вступ та постановка задачі

Надійність вимірювальних каналів (ВК) визначається їх здатністю витримувати метрологічні параметри в регламентованих межах. Вихід за ці межі класифікується як метрологічна відмова. Відповідність метрологічних характеристик їх нормованим значенням встановлюють у процесі повірки. Всі засоби вимірювання, що виготовляються або підлягають ремонту, ввозяться із-за кордону, знаходяться в експлуатації та на зберіганні, підлягають метрологічній повірці.

Розроблена в [1], система автоматичного контролю несинхронності обертання роторів електромоторів складається з двох ВК кутової швидкості, які мають обов'язково перевірятися через певних проміжок часу для встановлення відповідності метрологічних характеристик встановленим нормам. Оскільки розроблена система контролю є нестандартизованою, то для перевірки її метрологічних характеристик потрібно вирішити наукову задачу, яка полягає у розробці спеціальної схеми повірки, методики оцінювання результатів повірки, методики визначення міжповірочного інтервалу та встановленні вимог до метрологічних характеристик зразкового ВК.

Отже, **метою статті** є розробка нового комплексного підходу до оцінювання результатів повірки вимірювальних каналів кутової швидкості, визначення вимог до зразкових вимірювальних каналів та математичної моделі встановлення міжповірочних інтервалів.

### Викладення основного матеріалу

Найважливішим завданням при організації повірки засобів вимірювань є вибір зразкового засобу вимірювання. Вимоги до зразкового ВК формують індивідуально для кожного конкретного типу перевірюваних ВК залежно від специфіки, обсягу і змісту повірки. Однак є деякі спільні, характерні для всіх засобів вимірювань, вимоги до зразкових ВК. Зокрема, це такі [2, 3]:

- зразковий ВК повинен бути інваріантним до умов вимірювань і властивостей досліджуваних об'єктів, тобто ні умови вимірювань, ні властивості об'єктів не повинні впливати на його метрологічні характеристики;
- зразковий ВК повинен бути призначений для вимірювань тих же фізичних величин чи параметрів вимірювальних сигналів, що й перевірюваний ВК;
- діапазон вимірювань зразкового ВК (діапазон зміни значень зразкової міри) повинен перекривати діапазон вимірювань перевірюваного ВК;
- похибка  $\delta_{N\omega}$  вимірювання зразковим ВК не повинна перевищувати  $1/\alpha$  від значення похибки  $\delta_{X\omega}$  перевірюваного ВК при вимірюванні ними одного і того ж значення вимірюваної величини, тобто:

$$\delta_{N\omega} \leq \frac{1}{\alpha} \delta_{X\omega}, \quad (1)$$

де  $\frac{1}{\alpha} = \frac{\delta_{N\omega}}{\delta_{X\omega}}$  - співвідношення між похибками зразкового та повіряемого ВК.

Параметр  $\alpha$  показує співвідношення між похибками зразкового  $\delta_{N\omega}$  та повіряемого  $\delta_{X\omega}$  ВК. Він може набувати значень: 1:3; 1:4; 1:5; та 1:10 [3].

Загалом співвідношення між похибками зразкових і перевірюваних ВК вибирають із таких міркувань. Співвідношення 1:3 є достатнім для того, щоб похибка зразкового ВК істотно не впливала на результат повірки. Це співвідношення впливає із критерію визначення нехтовно малої похибки.

На основі співвідношення (1) можна визначити необхідний клас точності зразкового ВК. Наприклад, якщо для повірки ВК кутової швидкості використовується клас точності, який визначено у вигляді основної допустимої зведеної похибки  $\gamma_{X\omega}$ , то клас точності зразкового ВК  $\gamma_{N\omega}$  має задовольняти нерівність [3]:

$$\gamma_{N\omega} \leq \alpha \cdot \gamma_{X\omega} \frac{\omega_{\text{вим}_{\max}}}{\omega_{\text{д}_{\max}}}, \quad (2)$$

де  $\alpha$  – значення співвідношення між похибками зразкового та перевірюваного ВК ( $\alpha = 1/3, 1/4$  або  $1/5$ );  $\omega_{\text{вим}}$ ,  $\omega_{\text{д}}$  – нормовані значення перевірюваного та зразкового ВК кутової швидкості.

Якщо максимальний діапазон вимірювань повіряемого ВК кутової швидкості складає 550 рад/с, то діапазон зміни кутової швидкості зразкового ВК має бути не меншим за 550 рад/с. Оскільки розробляється узагальнена система для повірки ВК кутової швидкості, то зразковий ВК має забезпечувати максимально можливий діапазон зміни кутової швидкості. Цей діапазон залежить від технічних характеристик частотного регулятора та електродвигуна, що використовуються для задавання та регулювання кутових швидкостей, і складає 1000 рад/с. Абсолютна похибка повіряемого ВК кутової швидкості не повинна перевищувати 2 рад/с. Це значення встановлюється вимогами технологічного процесу в якому використовується система автоматичного контролю несинхронності обертання роторів [1]. Знаючи такі вихідні данні, зведена похибка повіряемого ВК кутової швидкості не повинна перевищувати  $\gamma_{X\omega} = 0,35\%$ .

Прийнявши значення  $\alpha$  рівним  $1/3$ , вимоги до точності зразкового ВК кутової швидкості, з врахуванням нерівності (2) та максимальної кутової швидкості 1000 рад/с, будуть такими

$$\gamma_{N\omega} \leq \frac{1}{3} \cdot \frac{550}{1000} \cdot 0,35 \approx 0,065\%.$$

Отже, співвідношення між класами точності  $\gamma_{N\omega}$  і  $\gamma_{X\omega}$  зразкового та повіряемого ВК залежить не тільки від необхідного співвідношення  $\alpha$  між похибками  $\delta_{N\omega}$  і  $\delta_{X\omega}$  вимірювань, але й від співвідношення між їх границями вимірювань  $\omega_{\text{д}}$  і  $\omega_{\text{вим}}$ . Границі вимірювань зразкового та повіряемого ВК бажано мати однаковими або, принаймні, границя вимірювання  $\omega_{\text{д}}$  зразкового ВК може бути дещо більшою від границі вимірювання  $\omega_{\text{вим}}$  повіряемого ВК, а не навпаки.

Для повірки вимірювальних каналів кутової швидкості призначених для контролю несинхронності обертання роторів використано метод зразкових сигналів та розроблено структурну схему повірки, що зображена на рис. 1.

Як видно з рис. 1, до складу системи повірки входять: засіб задавання зразкової кутової швидкості; масштабний перетворювач (МП1) для співставлення рівня сигналу напруги засобу задавання з рівнем напруги мікроконтролера (МК); цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) для передачі сигналу зразкового значення кутової швидкості від МК до частотного регулятора (ЧР), який розганяє ротор асинхронного електродвигуна (АД) до заданої кутової швидкості; другий масштабний перетворювач (МП2) для спряження сигналу ЦАП з рівнем напруги ЧР; сенсори Холла, що використовуються як зразкові та розміщені один навпроти іншого під кутом  $180^\circ$  всередині електродвигуна для визначення дійсних значень кутових швидкостей; мікросхема МАХ9921, що забезпечує підключення двох сенсорів Холла до мікроконтролера через мультиплексор (МХ) та живлення сенсорів; сенсор «ЛІР» (або інший сенсор), що використовується в повіряємих вимірювальних каналах (ПВК) кутової швидкості. Також в схемі системи повірки ВК кутової швидкості передбачено можливість спряження її з персональним комп'ютером (ПК) через послідовний інтерфейс RS232.

Методика перевірки повіряемого ВК кутової швидкості полягає в порівнянні дійсного значення кутової швидкості  $\omega_{\text{д}}$ , виміряного зразковим ВК та виміряного значення кутової швидкості  $\omega_{\text{вим}}$  повіряємих ВК за формулою

$$\Delta = \omega_{\text{вим}} - \omega_{\text{д}} = \omega_{\text{вим}} - f(\omega_{\text{д1}}, \omega_{\text{д2}}) = \omega_{\text{вим}} - \frac{\omega_{\text{д1}} + \omega_{\text{д2}}}{2}. \quad (3)$$

Відносна похибка повіряемого ВК кутової швидкості  $\delta_{X\omega}$  розраховується за формулою:

$$\delta_{X\omega} = \frac{\Delta}{\omega_{\text{д}}} 100\%. \quad (4)$$

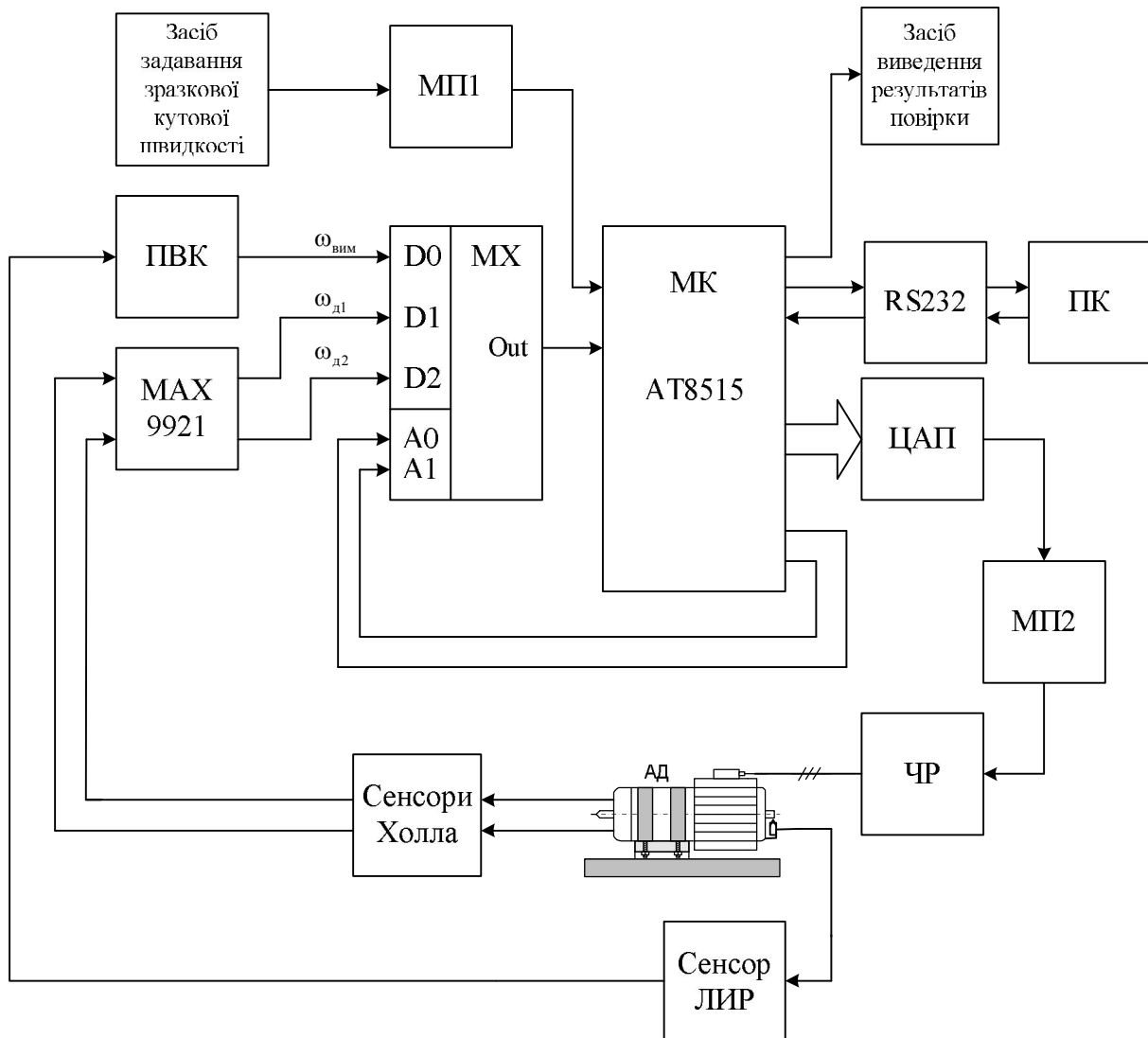


Рис. 1. Структурна схема системи, що призначена для повірки ВК кутової швидкості

Порівняння результатів зразкової та вимірної кутових швидкостей виконується на початку діапазону вимірювань, посередині діапазону вимірювань та при максимальній кутовій швидкості повіряемого ВК. З отриманих значень похибок вибирається максимальна похибка, яка порівнюється із значенням, що записано в нормативному документі на повіряемый ВК. Отримані результати повірки будуть достовірними тільки при дотриманні умов (1) або (2).

На основі результатів повірки потрібно визначити проміжок часу через який необхідно перевіряти стан метрологічних характеристик ВК. Для цього необхідно розробити методику встановлення міжповірочного інтервалу нестандартизованих засобів вимірювань. Для встановлення міжповірочного інтервалу необхідно вибрати показники метрологічної надійності або стабільності метрологічних характеристик.

На підставі матеріалів, представлених на випробування, встановлюють середньоквадратичне відхилення (СКВ)  $S_0$  розподілу похибки ВК при першому випуску з виробництва, межу  $\Delta_n$  допустимої похибки ВК, що пронормована в технічних умовах (ТУ), межу  $\Delta$  допустимої похибки ВК, що отримана на основі результатів повірки (3).

В припущенні про симетричність закону розподілу похибок, оцінити міжповірочний інтервал  $T_1$  можна за формулою [4]:

$$T_1 = t \frac{\ln\left(\frac{\Delta}{\lambda_P S_0}\right)}{\ln\left(\frac{\Delta_H}{\lambda_P S_0}\right)}, \quad (5)$$

де  $t$  – календарна протяжність безвідмовної експлуатації ВК;  $\lambda_P$  – коефіцієнт нормального розподілу, що відповідає імовірності  $P$  (довідникові данні). Для імовірності  $P=0,95$  квантиль нормального розподілу  $\lambda_{0,95}$  дорівнює 2.

Прийнявши припущення про те, що випадковий процес зміни в часі похибки ВК полягає в лінійній зміні середнього значення похибки (за сукупністю ВК даного типу) при незмінному СКВ розподілу похибки  $S_0$  оцінку другого міжповірочного інтервалу  $T_2$  можна розрахувати за формулою [4]:

$$T_2 = t \frac{\Delta - \lambda_P S_0}{\Delta_H - \lambda_P S_0}. \quad (6)$$

За знайденими міжповірочними інтервалами  $T_1$  і  $T_2$  встановлюють кінцевий міжповірочний інтервал ВК, що приймається рівним:

$$T = \min[T_1, T_2]. \quad (7)$$

Якщо календарна протяжність безвідмовної роботи склала 1 рік, максимальна абсолютна похибка в результаті повірки ВК кутової швидкості склала 2,3 рад/с і СКВ  $S_0$  розподілу похибки ВК при першому випуску з виробництва складало 1,8 рад/с, то міжповірочний інтервал розрахований за формулою (5) складає 0,76 років, а міжповірочний інтервал розрахований за формулою (6) складає 0,81 років. Враховуючи вираз (7) кінцевий міжповірочний інтервал перевіряемого ВК кутової швидкості приймається рівним 0,76 років, що приблизно відповідає 9-ти місяцям.

### Висновки

На основі проведених досліджень встановлено вимоги до зразкового ВК кутової швидкості, його зведена похибка має бути не гіршою за 0,065 % при умові, що зведена похибка повіряемого ВК кутової швидкості не може бути меншою за 0,35 %.

Враховуючи вимоги до зразкового ВК кутової швидкості розроблено структурну схему системи повірки ВК кутової швидкості призначених для контролю несинхронностей обертання в діапазоні від 0 до 1000 рад/с.

Використовуючи результати повірки нестандартизованого ВК кутової швидкості запропоновано методику встановлення міжповірочного інтервалу на основі пронормованого в технічних умовах значення абсолютної похибки та СКВ попередньої перевірки і визначеного найбільшого значення абсолютної похибки в діапазоні зміни кутових швидкостей.

### Список літературних джерел

1. Васілевський О.М. Система контролю несинхронності обертання силових електромеханічних перетворювачів / О.М. Васілевський, Ю.А.Чабанюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – № 1 (11). – 2006. – С. 220 – 226.
2. Васілевський О. М. Метрологічний нагляд та контроль: [навчальний посібник] / О.М. Васілевський, В.О. Поджарекно. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 162 с.
3. Васілевський О.М. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення: [навчальний посібник] / О.М. Васілевський, В.О. Поджарекно. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 214 с. - ISBN 978-966-641-348-5.
4. Васілевський О. М. Нормування показників надійності технічних засобів: [навчальний посібник] / О.М. Васілевський, В.О. Поджарекно. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 129 с.