

УДК 621.317

**МЕТОДИКА ПОВІРКИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ***О. М. Васілевський*

Анотація: Розроблено структурну схему повірки вимірювальних каналів кутової швидкості з можливістю зміни частот обертання в широкому діапазоні. Наведено вимоги, що ставляться перед зразковими вимірювальними каналами, методику оцінювання результатів повірки вимірювальних каналів кутової швидкості та методику встановлення міжповірочних інтервалів.

Анотація: Разработана структурная схема поверки измерительных каналов угловой скорости с возможностью изменения частот вращения в широком диапазоне. Приведены требования, которые выдвигаются к образцовым измерительным каналам, методика оценивания результатов поверки измерительных каналов угловой скорости и методика установления межповерочных интервалов.

Abstract: The flow diagram of check of the measurements ductings of angular velocity is developed intended for automatic control of difference of rotation of rotors of electric motors. Requirements which are pulled out to the exemplary measurements ductings are resulted, method of evaluation of errors of the entrusted measurements ductings of angular velocity and method of establishment of interest intervals.

**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 повірятися через певний проміжок часу для встановлення відповідності метрологічних характеристик встановленим нормам. Оскільки розроблена система контролю є нестандартизованою, то для перевірки її метрологічних характеристик потрібно розв'язати 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.

**Аналіз стану досліджень та публікацій**

Відомі роботи [2, 3], в яких розглядаються похибки та невизначеності ВК кутової швидкості, але як вже згадувалось вище такі нестандартизовані ВК повинні через встановлений проміжок часу повірятися і, відповідно, для таких ВК кутової швидкості необхідно розробити систему повірки та встановити вимоги до зразкових ВК.

**Формування мети роботи**

З огляду на вище сказане, метою даної роботи є побудова системи повірки ВК кутової швидкості, визначення необхідних і достатніх вимог до зразкових ВК, встановлення послідовності операцій які б дозволили перевірити стан метрологічних характеристик ВК кутової швидкості та розробка методики встановлення необхідного міжповірочного інтервалу.

**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 [4]:

- 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 перебивати 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 ВК та ВК, що повіряється;  $\delta_{N\omega}$  –

відносна похибка зразкового ВК;  $\delta_{X\omega}$  – відносна похибка ВК, що повіряється.



Параметр  $\alpha$  показує співвідношення між відносними похибками зразкового ВК та ВК, що повіряється, яке може набувати таких значень: 1:3; 1:4; 1:5; та 1:10 [4].

Загалом співвідношення між відносними похибками зразкового ВК і ВК, що повіряється 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 незначної похибки [5].

За допомогою 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:

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

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

Якщо максимальний діапазон вимірювань ВК, що повіряється 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 встановлення та регулювання кутових швидкостей, і складає 1000 рад/с [2]. Абсолютна похибка ВК, що повіряється не повинна перевищувати  $\Delta_3 = 2$  рад/с. Це значення встановлюється вимогами технологічного процесу в якому використовується система автоматичного контролю несинхронності обертання роторів [1]. Знаючи такі вихідні данні, зведена похибка ВК, що повіряється не повинна перевищувати  $\gamma_{X\omega} = 0,36\%$ , оскільки з [6] відомо, що

$$\gamma_{X\omega} = \frac{\Delta_3}{\omega_{\text{вим}_{\text{max}}}} 100\% = \frac{2}{550} 100\% \approx 0,36\%. \quad (3)$$

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

$$\gamma_{N\omega} \leq \frac{1}{3} \cdot \frac{550}{1000} \cdot 0,36 \approx 0,066\%.$$

Отже, співвідношення між класами точності зразкового ВК  $\gamma_{N\omega}$  та ВК, що повіряється  $\gamma_{X\omega}$  залежить не тільки від необхідного співвідношення  $\alpha$  між похибками вимірювань  $\delta_{N\omega}$ , і  $\delta_{X\omega}$ , але й від співвідношення між їх границями вимірювань  $\omega_{\text{д}_{\text{max}}}$  і  $\omega_{\text{вим}_{\text{max}}}$ . Границі вимірювань зразкового ВК та ВК, що повіряється бажано мати однаковими або, принаймні, границя вимірювання  $\omega_{\text{д}_{\text{max}}}$  зразкового ВК може бути дещо більшою від границі вимірювання  $\omega_{\text{вим}_{\text{max}}}$  ВК, що повіряється, 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 встановлення зразкової кутової швидкості; масштабний перетворювач (МП1) для співставлення рівня сигналу напруги засобу встановлення 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», що використовується у вимірювальних каналах кутової швидкості, що повіряються (ПВК). Також в схемі системи повірки ВК кутової швидкості передбачено можливість спряження її з персональним комп'ютером (ПК) через послідовний інтерфейс RS232.

Методика повірки ВК кутової швидкості полягає в порівнянні дійсного значення кутової швидкості  $\omega_{\text{д}}$  вимірюваного зразковим ВК за допомогою двох сенсорів Холла сигнали кутових швидкостей  $\omega_{\text{д1}}$  і  $\omega_{\text{д2}}$  від яких усереднюються для точнішого визначення дійсного значення кутової швидкості, з виміряними значеннями кутової швидкості  $\omega_{\text{вим}}$  за допомогою ВК, що повіряється:



$$\Delta = \omega_{\text{вим}} - \omega_{\text{д}} = \omega_{\text{вим}} - f(\omega_{\text{д1}}, \omega_{\text{д2}}) = \omega_{\text{вим}} - \frac{\omega_{\text{д1}} + \omega_{\text{д2}}}{2}. \quad (4)$$

Відносна похибка ВК, що повіряється  $\delta_{\text{Хв}}$  розраховується за формулою:

$$\delta_{\text{Хв}} = \frac{\Delta}{\omega_{\text{д}}} 100\%. \quad (5)$$

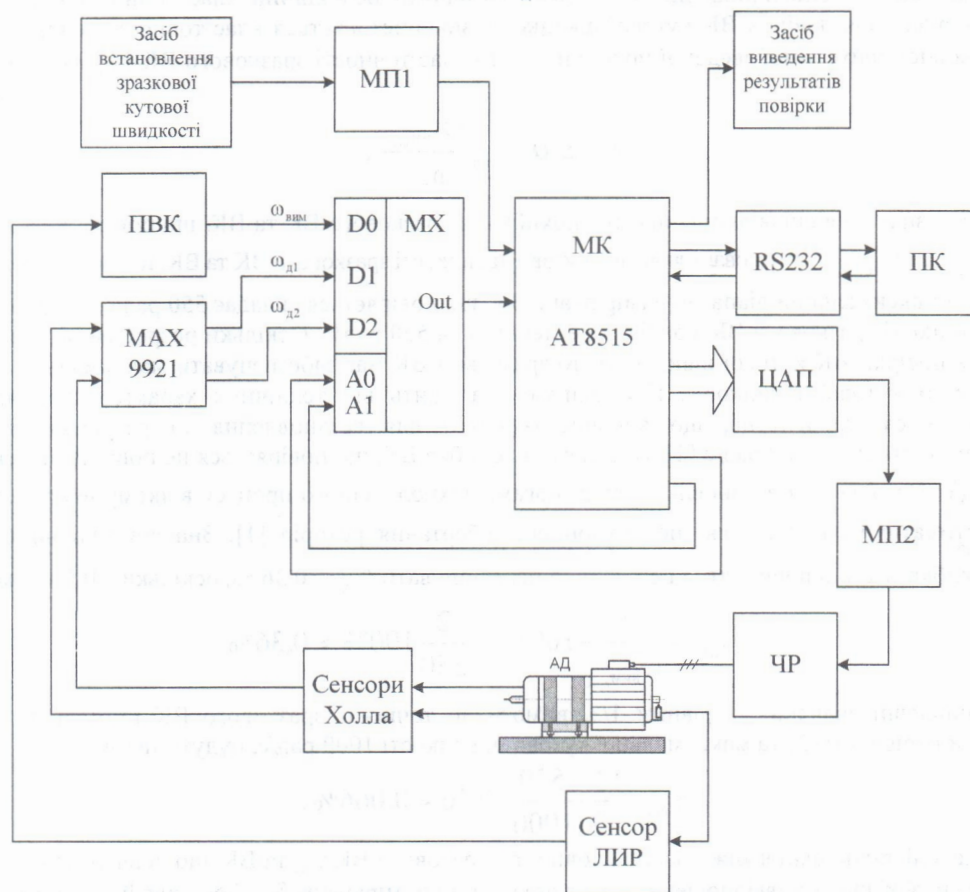


Рисунок 1 - Структурна схема системи повірки ВК кутової швидкості

Порівняння результатів зразкової та вимірної кутових швидкостей виконується на початку діапазону вимірювань, посередині діапазону вимірювань та на верхній межі вимірювання ВК, що повіряється. З отриманих значень похибок вибирається максимальна похибка, яка порівнюється із значенням, що записано в нормативному документі на ВК, що повіряється. 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  $\Delta_H$  допустимої похибки ВК, що пронормована в технічних умовах (ТУ), межу  $\Delta$  допустимої похибки ВК, що отримана на основі результатів повірки (4).

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

$$T_1 = t \frac{\ln\left(\frac{\Delta}{\lambda_p S_0}\right)}{\ln\left(\frac{\Delta_H}{\lambda_p S_0}\right)}, \quad (6)$$

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 міжповірного інтервалу  $T_2$  можна розрахувати за формулою:

$$T_2 = t \frac{\Delta - \lambda_p S_0}{\Delta_H - \lambda_p S_0} \quad (7)$$

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

$$T = \min[T_1, T_2] \quad (8)$$

Якщо календарна протяжність безвідмовної роботи склала 1 рік, максимальна абсолютна похибка в результаті повірки ВК кутової швидкості складала 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 (6) складає 0,76 років, а міжповірочний інтервал розрахований за формулою (7) складає 0,81 років. Враховуючи вираз (8) кінцевий міжповірочний інтервал ВК, що повіряється приймаємо рівним 0,76 років, що відповідає 9-ти місяцям.

### Висновки

На основі проведених досліджень встановлено вимоги до зразкового ВК кутової швидкості, його зведена похибка має бути не більшою за 0,066 % при умові, що зведена похибка ВК кутової швидкості, що повіряється не перевищує 0,36 %, тобто забезпечуються вимоги технологічного процесу в якому використовується система автоматичного контролю несинхронності обертання роторів ( $\Delta_3 = 2$  рад/с).

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 міжповірного інтервалу на основі пронормованого в технічних умовах значення абсолютної похибки та СКВ попередньої повірки і визначеного найбільшого значення абсолютної похибки в діапазоні зміни кутових швидкостей.

### Список літератури

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. Поджаренко В. О. Аналіз похибок вимірювання кутових швидкостей методом фіксованого кута в динамічному режимі / В. О. Поджаренко, О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук // Наукові праці донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк: ТОВ "Лебідь". – №74. – 2004. – С. 392 – 396.
3. Васілевський О. М. Методика оцінювання невизначеності результатів вимірювань під час перевірки тахометричних перетворювачів / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук, В. М. Севастьянов, О. А. Войтов // Відбір і обробка інформації. – №26 (102). – 2007. – С. 88 - 94.
4. Васілевський О. М. Метрологічний нагляд та контроль: [ навчальний посібник ] / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 162 с.
5. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники : [ учебное пособие ] / П. П. Орнатский. – Издательское объединение «Вища школа», 1976. – С. 284 – 285.
6. Володарський Є. Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: [ навчальний посібник ] / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с. – ISBN 966-7993-18-3.

### Відомості про авторів

Васілевський Олександр Миколайович – к.т.н., доцент кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету, e-mail: wasilevskiy@mail.ru