

УДК 621.317

ОЦІНЮВАННЯ ВІРОГІДНОСТІ КОНТРОЛЮ НЕСИНХРОННОСТІ ОБЕРТАННЯ СИЛОВИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

© Чабанюк Ю.А.¹, Васілевський О.М.², Івахова Л.І.², 2006

¹Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,
м. Львів, Україна

²Вінницький національний технічний університет,
м. Вінниця, Україна

Наведено структуру системи контролю несинхронності обертання електромеханічних перетворювачів, розраховано помилки першого і другого родів та оцінено вірогідність контролю несинхронності обертання.

Приведено структуру системы контроля асинхронности вращения электромеханических преобразователей, найдено ошибки первого и второго рода, а также оценена вероятность контроля асинхронности вращения.

It is resulted structure of the monitoring system difference of rotations of electromechanical converters, it is found mistakes of the first and second sort, and also it is estimated probability of the control difference of rotations.

Вступ. На практиці доволі часто виникає необхідність розроблення систем контролю за синхронізацією частот обертання декількох силових електромеханічних перетворювачів (ЕМП). Суть проблеми полягає у розробленні систем контролю для забезпечення високої швидкодії і точності синхронізації. Як правило, вимоги до точності синхронізації вищі, ніж до точності підтримки абсолютного значення частоти обертання. Похибка вимірювального каналу кутової швидкості може істотно вплинути на результат контролю несинхронності обертання силових ЕМП. За рахунок похибки вимірювання можна забракувати придатну систему контролю несинхронності обертання ЕМП або браковану систему контролю видати за придатну до експлуатації, внаслідок чого неможливо буде контролювати несинхронність обертання ЕМП із потрібною вірогідністю. Тому оцінювання вірогідності контролю несинхронності обертання ЕМП є доволі важливим етапом розроблення систем контролю за синхронізацією частот обертання ЕМП.

Аналіз стану досліджень та публікацій. Загалом, помилки контролю та загальна безумовна ймовірність прийняття помилкового рішення були розглянуті в [1–3] і визначаються такими виразами.

Помилку першого роду або “хибну тривогу” знаходять за формулою:

$$\alpha = \int_{-k_a \Delta}^{\Delta} \int_{-\infty}^{\bar{X}_2 - y} f(y, t) dt dy + \int_{-k_a \Delta}^{\Delta} \int_{\bar{X}_1 - y}^{\infty} f(y, t) dt dy, \quad (1)$$

де y – центроване значення параметра, що контролюється, яке визначається за формулою $y = y' - \bar{y}'$; y' – параметр, що контролюється; \bar{y}' – номінальне значення контрольованого параметра; $f(y, t)$ – сумісна щільність ймовірностей випадкових величин центрального значення параметра y та загальної похибки вимірювання t ; Δ – допустиме відхилення параметра, що контролюється; k_a – коефіцієнт асиметрії полів допуску.

Вираз (1) справедливий за умови, що математичне очікування закону розподілу ймовірності контрольованого параметра збігається з його номінальним значенням. Сумісна двовимірна щільність ймовірності двох неперервних випадкових величин за умови їхньої незалежності відповідно до [4] дорівнює добутку щільностей розподілу ймовірностей окремих величин, що входять до системи:

$$f(y, t) = f(t) \cdot f(y). \quad (2)$$

Величини \bar{X}_1 та \bar{X}_2 визначають виразами:

$$\bar{X}_1 = \Delta + \bar{c}_2'' - \bar{c}_1; \quad \bar{X}_2 = -\Delta - \bar{c}_2' - \bar{c}_1, \quad (3)$$

де \bar{c}_1 – математичне очікування похибки вимірювання (систематична похибка); \bar{c}'_2, \bar{c}''_2 – контрольні прирости полів допуску за нижньою та верхньою межами.

Помилку другого роду, або “пропуск сигналу”, знаходять за формулою:

$$\beta = \int_{-\infty}^{-k_a \cdot \Delta} \int_{\bar{X}_{2-y}}^{\bar{X}_{1-y}} f(y,t) dt dy + \int_{k_a \cdot \Delta}^{\infty} \int_{\bar{X}_{2-y}}^{\bar{X}_{1-y}} f(y,t) dt dy. \quad (4)$$

Тоді загальна безумовна ймовірність прийняття системою помилкового рішення визначається як:

$$P_n = \alpha + \beta. \quad (5)$$

Мета досліджень. У роботі розглядається система контролю несинхронності обертання ЕМП, якість роботи якої залежить від властивостей механізмів ЕМП під час експлуатації. Метою досліджень є розрахунок помилок першого і другого роду для оцінки вірогідності прийняття правильного рішення при контролі несинхронності обертання ЕМП та побудова характеристик їхньої зміни.

Розрахунок вірогідності контролю несинхронності обертання ЕМП. Для контролю несинхронності обертання ЕМП, насамперед необхідно вимірювати їхні частоти обертання, що супроводжується певними вимірювальними перетвореннями. Щоб отримати значення кутової швидкості силових ЕМП та синхронізувати їхні частот обертання, необхідно виконати

певні вимірювальні перетворення. Структурна схема перетворень наведена на рис. 1. Похибки, що виникають при кожному із вимірювальних перетворень, зумовлюють сумарну похибку, яка є функцією від багатьох змінних $\delta_{\Sigma} = f(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n)$.

Закон зміни несинхронності обертання ЕМП також залежить від багатьох причин, таких, як співвідношення моментів на валу ЕМП, ексцентриситету валів і механізмів, які обертаються, технологічної неточності виготовлення ротора, крутильних коливань ротора тощо, серед яких неможливо виділити ключову. Це дає змогу прийняти закон розподілу центрованого значення несинхронності обертання ЕМП за нормальний у такому вигляді:

$$f(\Delta\tilde{\omega}) = \frac{1}{\sigma_{\Delta\tilde{\omega}} \sqrt{2\pi}} e^{-\left[\frac{(\Delta\tilde{\omega})^2}{2\sigma_{\Delta\tilde{\omega}}^2}\right]}, \quad (7)$$

де $\Delta\tilde{\omega} = \Delta\omega_2 - \Delta\omega_1$ – центроване значення несинхронності обертання ЕМП (різниця між частотами обертання головного та допоміжного ЕМП); $\sigma_{\Delta\tilde{\omega}}$ – СКВ центрованого значення несинхронності обертання.

Залежності зміни законів розподілу похибки вимірювання кутової швидкості ЕМП для трьох випадків, які відрізняються ступенем впливу випадкових завод, якщо $\sigma_s < \sigma_{\Delta\tilde{\omega}}$, $\sigma_s \approx \sigma_{\Delta\tilde{\omega}}$, $\sigma_s > \sigma_{\Delta\tilde{\omega}}$ наведено на рис. 2.

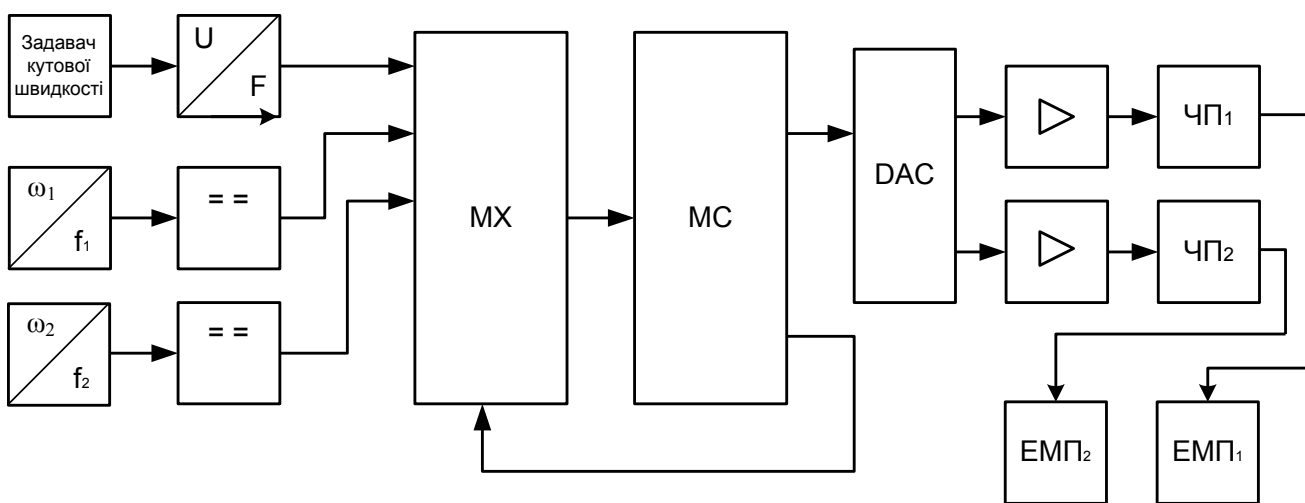


Рис. 1. Структурна схема системи контролю несинхронності обертання ЕМП: МХ – мультиплексор; МС – мікроконтролер; DAC – цифро аналоговий перетворювач; ЧП – частотний перетворювач

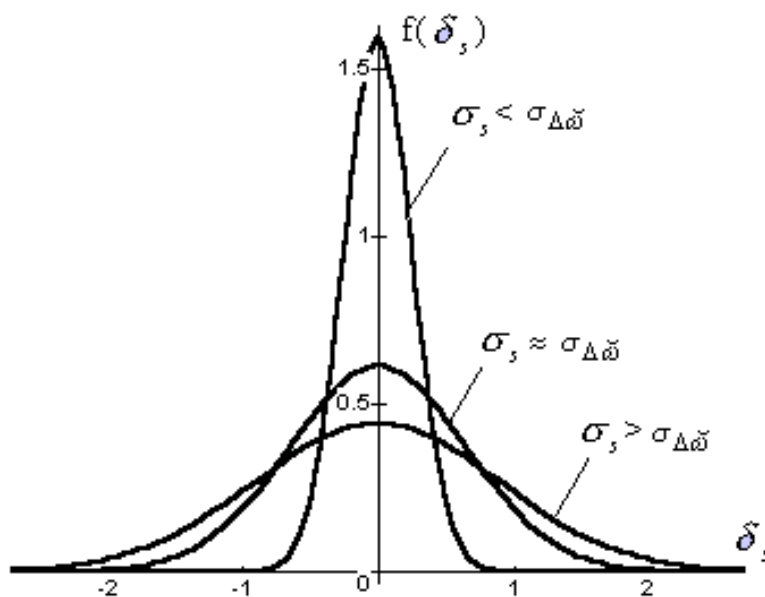


Рис. 2. Закони розподілу похибки вимірювання кутових швидкостей

Сумісну двовимірну щільність ймовірності несинхронності обертання та похибки вимірювання частоти обертання запишемо у вигляді:

$$f(\Delta\omega, \delta_s) = f(\Delta\omega) \cdot f(\delta_s) = \frac{e^{-\left(\frac{\delta_s^2}{2\sigma_s^2}\right)} / (\sigma_s \sqrt{2 \cdot \pi})}{\sigma_{\Delta\omega} \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\left[\frac{(\Delta\omega)^2}{2\sigma_{\Delta\omega}^2}\right]} \quad (8)$$

Тоді помилка першого роду контролю несинхронності обертання ЕМП відповідно до (1) визначається:

$$\alpha = \int_{-\Delta}^{\Delta} \int_{-\infty}^{-\Delta-\Delta\omega} f(\Delta\omega, \delta_s) d\delta_s d\Delta\omega + \int_{-\Delta}^{\Delta} \int_{\Delta-\Delta\omega}^{\infty} f(\Delta\omega, \delta_s) d\delta_s d\Delta\omega + \int_{-\Delta}^{\Delta} \int_{-\Delta-\Delta\omega}^{\Delta-\Delta\omega} f(\Delta\omega, \delta_s) d\delta_s d\Delta\omega \quad (9)$$

а помилка другого роду контролю несинхронності обертання ЕМП відповідно до (4) буде мати вигляд:

$$\beta = \int_{-\Delta}^{\Delta} \int_{-\Delta-\Delta\omega}^{\Delta-\Delta\omega} f(\Delta\omega, \delta_s) d\delta_s d\Delta\omega + \int_{-\Delta}^{\Delta} \int_{-\Delta-\Delta\omega}^{\Delta-\Delta\omega} f(\Delta\omega, \delta_s) d\delta_s d\Delta\omega + \int_{-\Delta}^{\Delta} \int_{-\Delta-\Delta\omega}^{\Delta-\Delta\omega} f(\Delta\omega, \delta_s) d\delta_s d\Delta\omega \quad (10)$$

Для розрахунків прийемо контрольні прирости полів допуску за нижньою та верхньою межами, що

дорівнюють нулю, а поле допусків несинхронності обертання ЕМП визначимо із виразу:

$$\Delta = \frac{\omega_{max}}{100} \varepsilon_{dmax} \quad (11)$$

де $\omega_{max} = 550$ рад/с – максимальна кутова швидкість ЕМП; $\varepsilon_{dmax} = 0.35\%$ – максимально допустима похибка вимірювання кутової швидкості ЕМП.

Отже, поле допусків несинхронності обертання ЕМП відповідно до (11) приблизно дорівнює 2 рад/с, а СКВ несинхронності обертання, за нормального закону розподілу не повинно перевищувати 0.7 рад/с.

Підставивши знайдені межі інтегрування у (9) і (10) та виконавши розрахунки помилок першого і другого роду при контролі несинхронності обертання ЕМП, за допомогою математичного пакета Maple V R7, отримано такі числові значення: $\alpha=0.03670$; $\beta=0.001211$.

Розраховані за допомогою математичного пакета Maple V R7 залежності зміни помилок першого та другого родів і ймовірності прийняття системою помилкового рішення від параметра $\mu = \sigma_s / \sigma_{\Delta\omega}$, який визначає співвідношення між СКВ загальної похибки вимірювання швидкості і СКВ похибки контролю несинхронності обертання ЕМП наведені на рис. 3 і рис. 4.

Отже, кількісна оцінка абсолютної вірогідності контролю несинхронності обертання силових ЕМП, яка являє собою ймовірність прийняття правильного рішення, при розрахованих вище помилках контролю першого та другого роду, із врахуванням рівняння (5) становить $D = 1 - P_n = 1 - (0.0367 + 0.001211) = 0.962$.

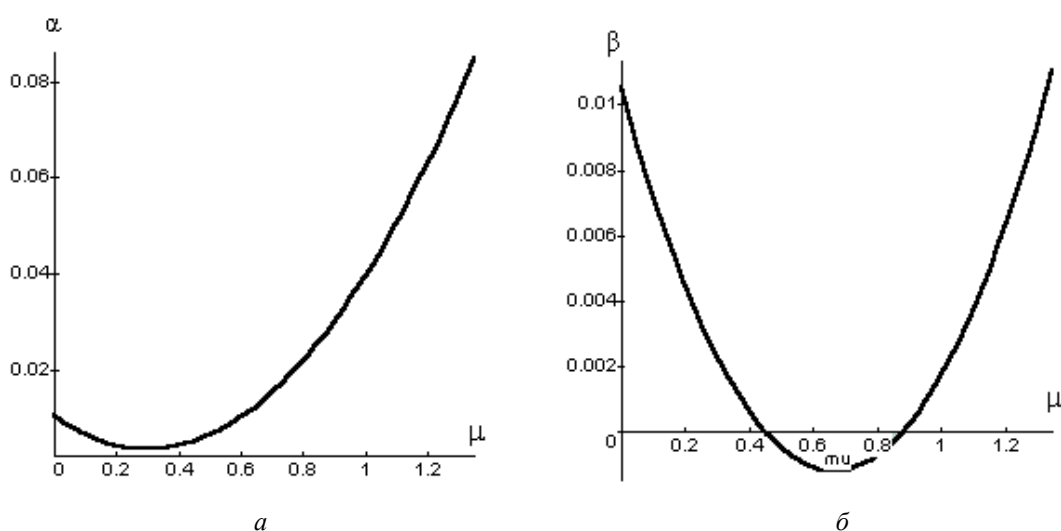


Рис. 3. Залежності зміни помилок контролю несинхронності обертання ЕМП першого – а) та другого – б) роду від параметра μ

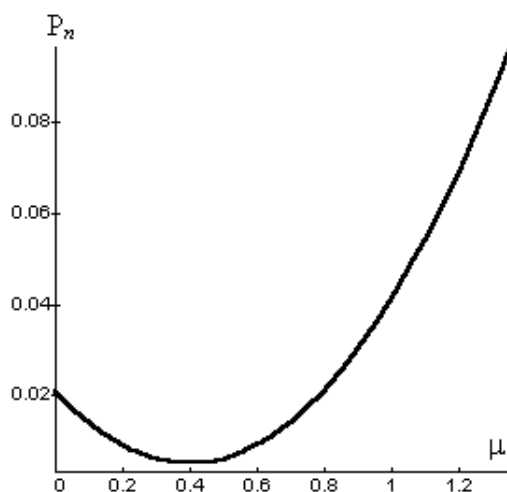


Рис. 4. Залежність зміни ймовірності прийняття помилкового рішення під час контролю несинхронності обертання ЕМП від параметра μ

Висновки. Виконано оцінювання помилок контролю несинхронності обертання ЕМП першого і другого родів та вірогідності прийняття правильного рішення, в результаті чого встановлено, що під час контролю несинхронності обертання кількох ЕМП при вимірюванні кутової швидкості в діапазоні від до 550 рад/с з відносною похибкою 0,35% помилка контролю першого роду становить 0.0367, помилка другого роду 0.001211, а вірогідність контролю несинхронності обертання силових ЕМП становить 96 %. У разі збільшення похибки вимірювань кутових швидкостей до 0,5 %, згідно із рис. 4, вірогідність контролю несинхронності обертання ЕМП зменшується до 90 %, що не задовольняє умови технологіч-

ного процесу обробки сировини, тому гранично допустима похибка вимірювальних каналів кутових швидкостей силових ЕМП не повинна перевищувати 0,4 %.

1. Дунаев Б.Б. Точность измерений при контроле качества. – К., 1981.
2. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. – Вінниця, 2001.
3. Касьян К.Н. Оценка достоверности допускового контроля // Радиоэлектроника, информатика, управління. – 2000. – № 1. – С. 24 – 26.
4. Фрумкин В.Д., Рубичев Н.А. Достоверность контроля средств радиоизмерений и контрольные допуски. – М., 1975.
5. Фрумкин В.Д., Рубичев Н.А. Теория вероятностей и статистика в метрологии и измерительной технике. – М., 1987.