

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ВІБРОПРИСКОРЕНЬ 1-ГО І 2-ГО ПОРЯДКІВ ЯК ЗАСТУПНИХ ІНФОРМАТИВНИХ ЕКВІВАЛЕНТІВ ВІБРОШВИДКОСТІ ТА ВІБРОЗМІЩЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведена ідентифікація інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків як альтернативних заступних інформативних еквівалентів основних базисних параметрів вібраційного стану гідроенергетичних ГЕС (віброшвидкості і віброзміщення).

Ключові слова: вібрація, контроль, гідроенергетика, віброприскорення, віброшвидкість, віброзміщення, інтегральні віброприскорення.

Abstract

Integrated vibroaccelerations of 1st and 2nd order as the alternative informative equivalents of base parameters (vibroshifft) of a vibrating state of hydrogenerators of hydroelectric station have been identified.

Keywords: vibration, control, hydroenergetics, vibroshifft, integrated vibration acceleration.

Вступ

Для проведення процедури динамічного контролю вібраційного стану гідроагрегатів ГЕС та ГАЕС на основі інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків [1] розв'язується задача їх ідентифікації як можливих заступних інформативних еквівалентів віброшвидкості та віброзміщення, відповідно. Останні, як відомо, разом з віброприскоренням є базисними, відтак – вихідними, в формуванні системи параметрів, що якісно і кількісно описують вібраційний стан об'єктів контролю [2-4]. Водночас запропоновані альтернативні фізичні величини в змозі помітно зменшити загальний обсяг обчислювальних, часових і апаратних ресурсів засобу контролю. Розкриття і математичне обґрунтування цієї властивості є основною метою даної роботи.

Варто зазначити, що у разі проведення динамічного виду віброконтролю, коли гідроенергетичний агрегат перебуває в стані перехідного процесу, наприклад, під час запуску та розгону системи, актуальність поставленої задачі набуває виняткового значення, оскільки саме такий вид контролю вібраційного стану об'єктів гідроелектроенергетики на сьогодні є надзвичайно затребуваним, але водночас – малодослідженим і в самій теорії віброконтролю, і в її практиці [2-4].

Заступні інформативні еквіваленти фізичних величин

Заступними інформативними еквівалентами фізичної величини називатимемо всі інші фізичні величини, відлікові значення яких перебувають в лінійній залежності від відлікових значень оригінала. Тоді для останнього можна записати

$$Y_k = c_1 X_{k-s} + c_2, \quad (1)$$

де $k = 0, 1, 2, \dots$; c_1, c_2 – інваріанти до відлікових значень X , наприклад, постійні або залежні від часу явно величини, $s \leq k$ – константа; X – один із еквівалентів фізичної величини Y .

Під час проведення процедури контролю заступні інформативні еквіваленти здатні замінювати оригінали на різних етапах вторинних перетворень. За певних умов така заміна з точки зору зменшення обчислювальних, часових та апаратних ресурсів може виявитися ефективною.

Ідентифікація інтегрального віброприскорення 1-го порядку як заступного інформативного еквівалента віброшвидкості

Для знаходження та ідентифікації можливих заступних інформативних еквівалентів віброшвидкості і віброзміщення побудуємо узагальнені рекурсивні оператори, які розкривають правила однозначного відображення послідовності відлікових значень дискретного у часі сигналу

віброприскорення $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$ у послідовності значень віброшвидкості $\{v_0, v_1, \dots, v_k, v_{k+1}, \dots\}$ та віброзміщення $\{s_0, s_1, \dots, s_k, s_{k+1}, \dots\}$, відповідно.

Для віброшвидкості таким оператором є відображення [1]

$$v_{k+1} = v_0 + \Delta t \sum_{i=0}^k a_i. \quad (2)$$

В формулі (2) Δt – це крок дискретизації, значення якої наразі вважаємо довільним, але постійним.

Відповідно до [1],

$$\xi_k^{(1)} = \sum_{i=0}^k a_i = a_0 + a_1 + \dots + a_k, \quad (3)$$

сума в формулі (2) є k -м відліковим значенням інтегрального віброприскорення 1-го порядку.

Тоді з урахуванням (3) вираз (2) набуває вигляду (1)

$$v_{k+1} = \Delta t \xi_k^{(1)} + v_0. \quad (4)$$

Згідно з формулою (4), за нульового значення $v_0 = 0$ поміж відліковими значеннями віброшвидкості та інтегрального віброприскорення 1-го порядку буде сформовано пряму пропорційність

$$v_{k+1} = \Delta t \xi_k^{(1)}. \quad (5)$$

Границями допускового інтервалу слугуватимуть

$$\xi_{\min}^{(1)} = \frac{v_{\min}}{\Delta t} \quad \text{та} \quad \xi_{\max}^{(1)} = \frac{v_{\max}}{\Delta t}.$$

Ідентифікація інтегрального віброприскорення 2-го порядку як заступного інформативного еквівалента віброзміщення

Відлікове значення віброзміщення s на $(k+1)$ -му кроці дискретизації [1]

$$s_{k+1} = s_0 + (k+1)\Delta t v_0 + \Delta t^2 \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{i_2=0}^{i_1} a_{i_2}. \quad (6)$$

Неважко помітити, що подвійна сума в формулі (6) є $(k-1)$ -шим відліковим значенням інтегрального віброприскорення 2-го порядку [1]

$$\begin{aligned} \xi_k^{(2)} &= \sum_{i_1=0}^k \sum_{i_2=0}^{i_1} a_{i_2} = a_0 + (a_0 + a_1) + \dots + (a_0 + \dots + a_k) = \\ &= \sum_{i_1=0}^k \xi_{i_1}^{(1)} = \xi_0^{(1)} + \xi_1^{(1)} + \dots + \xi_k^{(1)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Тому формулу (6) можна переписати з урахуванням (7):

$$s_{k+1} = s_0 + (k+1)\Delta t v_0 + \Delta t^2 \xi_{k-1}^{(2)}. \quad (8)$$

Отримане співвідношення (8) є оператором відображення послідовності відлікових значень віброприскорення $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$ об'єкта вимірювання або контролю у відлікові значення віброзміщення $\{s_0, s_1, \dots, s_k, s_{k+1}, \dots\}$. Цей оператор вирізняється рядом позитивних якостей.

Однією з таких якостей є *узагальненість* оператора, що дозволяє математично описувати процес зазначеного перетворення не тільки за стаціонарних режимів роботи об'єкта віброконтролю, але і під час його перехідних процесів, і здійснювати це як за нульових, так і ненульових початкових умов віброшвидкості v_0 та віброзміщення s_0 . Іншою істотною якістю зазначеного оператора є його *лінійність*, оскільки рівняння відображення (9) можна записати у вигляді (4).

Якщо всі початкові умови для об'єкта віброконтролю водночас покласти рівними нулю, тобто $s_0 = 0$, $v_0 = 0$, $a_0 = 0$, оператор відображення (9) зазнає істотних і важливих спрощень. Зауважимо, що така ситуація у виробничій практиці зустрічається доволі часто. Наприклад, саме такі передумови спостерігаються під час запуску та розгону системи гідрогенератора у разі проведення контролю його вібраційного стану. Як зазначалося вище на сьогодні такий вид віброконтролю на об'єктах гідроенергетики є затребуваним, але малодослідженим.

Відтак за нульових початкових умов в формулі (8) спостерігають якісні зміни, де між відліковими значеннями віброзміщення та інтегрального віброприскорення 2-го порядку встановлюється не просто лінійна залежність, а формується пряма пропорційність

$$s_{k+1} = \Delta t^2 \xi_{k-1}^{(2)}. \quad (9)$$

Щодо границь допускового інтервалу, то для зазначеного режиму роботи вони мають бути розраховані на підставі формули (9)

$$\xi_{\min}^{(2)} = \frac{s_{\min}}{\Delta t^2}; \quad \xi_{\max}^{(2)} = \frac{s_{\max}}{\Delta t^2}.$$

Висновки

В доповіді розв'язано задачу ідентифікації інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків як можливих альтернативних заступних інформативних еквівалентів віброшвидкості та віброзміщення, які у разі їх введення у вихідний базис теорії віброконтролю здатні помітно зменшити загальний обсяг обчислювальних, часових і апаратних ресурсів засобу контролю під час динамічного контролю вібраційного стану гідроагрегатів ГЕС та ГАЕС в стаціонарних та, головне, перехідних режимах роботи останніх.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ведміцький Ю. Г. Числове перетворення вібропараметрів гідрогенератора на основі інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, В. Ф. Граняк // Метрологія та прилади. – №5(55). – 2015. – С. 21 - 27.
2. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М. : Машиностроение, 1996. – 276 с.
3. Кухарчук В. В. Моніторинг, діагностування, та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія / В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців, В. Г. Мадьяров та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 168 с.
4. Вибрации в технике : справочник. В 6-ти т. / Ред. совет : В. Н. Челомей (пред.). – М. : Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. 1981. – 509 с.

Юрій Григорович Ведміцький – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: teeb@i.ua.

Yury Gr. Vedmitckyy – Cand. Sc. (Eng), Docent, Associate Professor of Department of Theoretical Electrical Engineering and Electric Measuring, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: teeb@i.ua.