УДК 656.216

Ананьєва О.М., асистент (УкрДАЗТ)

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ХВИЛЬОВИХ СИГНАЛІВ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ

Постановка задачі. На залізничному транспорті у системах автоматичного керування рухом поїздів для визначення місцезнаходження рухомого складу і стану залізничних ділянок широке застосування знаходять тональні рейкові кола (ТРК), які істотно впливають як на безпеку руху, так і на експлуатаційні показники перевізного процесу. Тому задача підвищення безпечності та надійності роботи ТРК є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сигнальної складової напруги ТРК [1-3] надає можливість встановити, що досить розвинена тріщина у рейках обумовлює не тільки більшу амплітуду відбитого від неї сигналу, але й більшу величину різниці фаз між напругами падаючої і відбитої хвиль. У зв`язку с цим виникає необхідність в уточненні оцінок параметрів первинних та вторинних інформаційних сигналів рейкових кіл.

Мета дослідження. Метою роботи є вирішення наукової задачі побудови хвильових методів контролю параметрів рейкових кіл.

Основна частина. Якщо виключити з розгляду відносно короткочасні етапи стрімкого розвитку, то тріщина ТРК являє собою вкрай малодинамічне утворення. Через це можна вважати, що на часовому інтервалі тривалістю порядку декількох десятків періодів проходження імпульсів статистичні характеристики її параметрів (а значить, і параметрів U_m і φ імпульсів, відбитих від тріщини) постійні й, отже, розходження у величинах оцінок $\hat{U}_m$ і $\hat{\varphi}$ значною мірою пояснюється впливом завад [1-3]. За цих умов існує можливість формування за сукупністю одиночних оцінок, отриманих у декількох сусідніх періодах проходження імпульсів, більш точного оцінення як величини U_m, так і величини φ. Зазначені одиночні оцінки, отримані шляхом безпосередньої обробки прийнятих електричних коливань, одержали в літературі назву первинних оцінок. Тому уточнені оцінки, що одержані за допомогою обробки сукупності первинних оцінок, назвемо вторинними. Нехай у результаті вимірів, виконаних у M сусідніх періодах проходження імпульсів, отримана послідовність $\{\hat{\lambda}_i\}$ $(i = 1, 2, ..., M)$ первинних оцінок якого-небудь параметра (байдуже, $\hat{U}_m$ або $\hat{\varphi}$). Для цього необхідно так обробити цю послідовність, щоб обчислити вторинну оцінку $\overset{*}{\lambda}_M$ цього параметра, дисперсія якої менше дисперсії первинних оцінок (індекс M указує довжину оброблюваної послідовності).

Довільний i-й член послідовності $\{\hat{\lambda}_i\}$ можна подати як суму його істинної величини λ_i й помилки виміру ξ_i:

$$\hat{\lambda}_i = \lambda_i + \xi_i, \tag{1}$$

де $i = 1, 2, ..., M$.

Будемо вважати, що помилки виміру – випадкові величини з нульовим середнім $E\{\xi_i\} = 0$ і кореляційною матрицею $\vec{N}$ з елементами, що задаються виразом

$$E\{\xi_i \cdot \xi_j\} = N_{ij}. \tag{2}$$

Відомо, що завади роботі РК досить широкосмугові [4] у порівнянні з частотою проходження імпульсів РК (8 або 12 Гц), тому помилки вимірювання є практично некорельованими, тобто

$$E\left\{\xi_i \cdot \xi_j\right\} = \sigma^2_{\ddot{I}\,\hat{I}\,M} \cdot \delta_{ij}\,, \tag{3}$$

де $\sigma^2_{\ddot{I}\,\hat{I}\,M}$ – дисперсія помилок вимірювання;

σ_{ij} – символ Кронекера:

$$\sigma_{ij} = \begin{cases} 1, \; i = j; \\ 0, \; i \neq j. \end{cases}$$

Назвемо послідовність $\left\{\hat{\lambda}_i\right\}$ вимірюваним процесом і візьмемо до уваги, що через повільні випадкові коливання численних зовнішніх факторів, що впливають на електричні параметри тріщини (а виходить, і на величини U_m й φ), елементи λ_i вимірюваного процесу можна вважати випадковими величинами з гаусівською щільністю розподілу ймовірності:

$$p\left(\lambda_i\right) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot exp\left[-\frac{\left(\lambda_i - \mu\right)^2}{2\sigma^2}\right]. \tag{4}$$

Тут σ^2 – дисперсія величин елементів вимірюваного процесу, а μ - математичне очікування цих величин (величини μ й σ беремо постійними для всіх елементів вимірюваного процесу, вважаючи цей процес стаціонарним у широкому сенсі).

Також вважаємо, що величини λ_i й помилки ξ_i їхнього вимірювання незалежні, тобто

$$E\left\{\lambda_i \cdot \xi_i\right\} = 0 \tag{5}$$

при всіх i і j .

Візьмемо до розгляду вектор $\hat{\vec{\lambda}}_M$ первинних оцінок вимірюваного процесу:

$$\hat{\vec{\lambda}}_M = \left(\hat{\lambda}_1 \; \hat{\lambda}_2 \; \hat{\lambda}_3 \; \ldots \; \hat{\lambda}_{M-1} \; \hat{\lambda}_M\right)^T, \tag{6}$$

вектор середніх значень $\vec{\mu}_M$ вимірюваного процесу розмірністю M :

$$\vec{\mu}_M = \left(\mu\ \mu\ \mu\ \ldots\ \mu\ \mu\right)^T. \qquad (7)$$

Тут "T" – знак транспонування, а індекс M уведений для опису величини розмірності відповідного вектора.

З урахуванням уведених раніше позначень визначимо елементи R_{ij} кореляційної матриці $\vec{R}$ вимірюваного процесу як

$$R_{ij} = E\left\{\left(\lambda_i - \mu\right)\cdot\left(\lambda_j - \mu\right)\right\}. \qquad (8)$$

Уведемо також матрицю $\vec{A}$, обернену кореляційній матриці помилок вимірювання (тобто $\vec{A} = \vec{N}^{-1}$), і матрицю $\vec{V}$, обернену кореляційній матриці вимірюваного процесу (тобто $\vec{V} = \vec{R}^{-1}$). Отриманий у результаті вторинної обробки вектор вторинних оцінок задамо як

$$\vec{\lambda}_M^* = \left(\overset{*}{\lambda}_1\ \overset{*}{\lambda}_2\ \overset{*}{\lambda}_3\ \ldots\ \overset{*}{\lambda}_{M-1}\ \overset{*}{\lambda}_M\right)^T. \qquad (9)$$

Згідно з [5], максимум апостеріорної щільності ймовірності вимірюваного процесу доставляється при

$$\vec{\lambda}_M^* = \vec{C}\cdot\vec{A}\cdot\left(\hat{\vec{\lambda}}_M - \vec{\mu}_M\right) + \vec{\mu}_M. \qquad (10)$$

Тут як $\vec{C}$ позначена матриця других моментів апостеріорного розподілу:

$$\vec{C} = \left(\vec{A} + \vec{V}\right)^{-1} \qquad (11)$$

і одночасно

$$\vec{C} = E\left\{\left(\vec{\lambda}_M^* - \lambda_M\right)\cdot\left(\vec{\lambda}_M^* - \lambda_M\right)^T\right\}. \qquad (12)$$

Нас цікавить величина $\overset{*}{\lambda}_M$ вторинної оцінки, отриманої за результатами поточних вимірювань і вимірювань у $(M-1)$ попередньому періоді проходження імпульсів, тобто – величина останнього елемента вектора $\vec{\lambda}_M^*$ (9). Цю величину знаходимо з (10). Перемноживши матриці $\vec{C}$ й $\vec{A}$, одержимо матрицю $\vec{G}$ з елементами

$$g_{lk} = \sum_{i=1}^{M} C_{li} \cdot A_{ik}\,, \tag{13}$$

де $l = 1,2,3,...,M$ й $k = 1,2,3,...,M$.

Після цього перемножимо її з різницевим вектором з виразу (10) і запишемо останній елемент вектора, що вийшов,

$$\overset{*}{\lambda}_M = \sum_{i=1}^{M} g_{Mi}\left(\hat{\lambda}_i - \mu\right) + \mu\,. \tag{14}$$

Таким чином очікувана величина знаходиться шляхом зваженого підсумовування різниць $\left(\hat{\lambda}_i - \mu\right)$. Згідно з [6], вираз (14) описує дискретний фільтр із імпульсною характеристикою $\{g_{Mi}\}$ $\left(i = 1,2,...,M\right)$. Для розрахунку цієї імпульсної характеристики необхідно знати кореляційну матрицю $\vec{N}$ помилок вимірювання (також, з урахуванням виразу (3), – знати величину $\sigma^2_{\text{Îîì}}$ дисперсії цих помилок), кореляційну матрицю $\vec{R}$ вимірюваного процесу, а також середнє значення μ цього процесу.

Розглянемо першу й третю із зазначених задач – розрахунок величини $\sigma^2_{\text{Îîì}}$ дисперсії первинної оцінки, а також величини μ. Відомо, що одержані оцінки є випадковими величинами [7]. При цьому оцінка $\hat{U}_m$ розподілена за узагальненим законом Релея з середнім значенням μ_U і дисперсією σ_U^2, обумовленими, згідно з [8], як

$$\mu_U = \frac{U_m}{d}\sqrt{\frac{\pi}{2}}\left[\left(1 + \frac{d^2}{2}\right)\cdot I_0\left(\frac{d^2}{4}\right) + \frac{d^2}{2}\cdot I_1\left(\frac{d^2}{4}\right)\right]\cdot e^{-0,25d^2}\,, \tag{15}$$

$$\sigma_U^2 = U_m^2\left(1 + \frac{2}{d^2}\right) - \mu_U^2\,, \tag{16}$$

де $d^2 = \left(\frac{2\tau_i}{N_0}\right)U_m^2$; (17)

$I_0(.)$ і $I_1(.)$ – модифіковані функції Бесселя відповідно нульового й першого порядку.

У тій же роботі [8] показано, що оцінка $\hat{\varphi}$ розподілена за законом, який асимптотично прямує до гаусівського, з ростом відношення сигнал/шум при середньому значенні

$$\mu_\varphi = \varphi_{\text{Â²ÄÁ}} \tag{18}$$

і дисперсії

$$\sigma_\varphi^2 = \frac{N_0}{2\tau_i U^2_{m\text{Â²ÄÁ}}}. \tag{19}$$

Таким чином, співвідношення (16-19) являють собою точне аналітичне рішення відзначених вище задач.

Висновки. Проведено оцінку сигнальної складової напруги живильного кінця тонального рейкового кола, що дозволило отримати аналітичні рішення для відзначення помилки вимірювання інформаційних сигналів рейкових кіл, а також їхнє математичне очікування.

Список літератури

1. Соболєв Ю.В., Ананьєва О.М. Аналіз структури та параметрів сигналів колійних перетворювачів систем інтервального регулювання рухом поїздів // Перспективи розвитку рухомого складу залізниць: Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип. 76. – С. 205-212.

2. Ананьєва О.М. Моделювання напруги генератора сигнального струму рейкового кола при наявності тріщини в рейці// Удосконалення управління експлуатаційною роботою залізниць: Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Вип.85. – С. 253-261.

3. Соболєв Ю.В., Ананьєва О.М. Моделювання відбитої хвилі напруги сигнального струму рейкового кола// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. –2007. – № 5,6. - С. 74-81.

4. Соболев Ю.В. Путевые преобразователи автоматизированных систем управления железнодорожного транспорта. – Харьков: ХФИ “Транспорт Украины”, 1999. – 200 с.

5. Фалькович С.Е., Хомяков Э.Н. Статистическая теория измерительных радиосистем. – М.: Радио и связь, 1981. – 288 с.

6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высш. школа, 2003. – 462 с.

7. Соболєв Ю.В., Ананьєва О.М. Синтез квазіоптимальних вимірювачів інформаційних сигналів колійних перетворювачів систем залізничної автоматики// Телекомунікаційні системи та мережі на залізничному транспорті: Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2006. – Вип.78. – С.184-195.

8. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Кн. 2. – М.: Сов. Радио, 1975. – 392 с.