напруг, які описують перехідний процес у контактній мережі постійного струму при ненульових початкових умовах.

Показано, що при перехідному процесі в мережі постійного струму, у випадку мероморфності функцій зображень струму й напруги при нульових початкових умовах, відповідні їм функції при ненульових умовах також будуть мероморфні.

Розроблено програмну реалізацію запропонованого методу аналізу перехідних процесів у контактній мережі постійного струму, тестування якої показало узгодження одержуваних оригіналів розподілів напруги й струму в мережі з відповідними граничними умовами й розподілами в сталих режимах.

1. *Дёч Г.* Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и *Z*-преобразования. — М.: Наука, 1971. — 288 с.

2. *Каганов З.Г.* Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 247 с.

3. *Кожевников А.В., Денисова Г.Е.* Обоснование выбора численного метода обратного преобразования Лапласа для нахождения мероморфных функций с конечным числом полюсов // Сб. научн. тр. НГУ. — 2007. — № 27. — С. 184—192.

4. *Крючков И.П., Неклепаев Б.Н., Старшинов В.А. и др.* Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования. — М.: Издательский центр "Академия", 2006. — 416 с.

5. *Крылов В.И., Скобля Н.С.* Методы приближенного преобразования Фурье и обращения преобразования Лапласа. — М.: Наука, 1974. — 224 с.

6. *Кузнецов С.М.* Защита тяговой сети от токов короткого замыкания. Ч 2. — Новосибирск: НГТУ, 2000. — 85 с.

7. *Попов В.М.* Помехоустойчивость автоматических средств защиты в электроустановках: Автореферат дисс. на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.26.01. — М.: МЭИ, 1988. — 20 с.

8. *Cuomo S., D'amore L., Murli A., Rizzardi M.* Computation of the inverse Laplace transform based on a collocation method which use only real values. // Journal of Computational and Applied Mathematics. — 2007. — V. 198. — Pp. 98—115.

9. *Garbow B.S., Giunta G., Lyness J., Murli A.* Software implementation of Week's method for the inverse Laplace transform problem. // ACM Trans. Math. Software. — 1988. — V. 15. — Pp. 163—170.

Надійшла 08.12.2008

УДК 681.518.52

Л.І.МЕЩЕРЯКОВ, канд.техн.наук (Національний гірничий університет, Дніпропетровськ)

Удосконалення інформаційного забезпечення електротехнологічних комплексів та систем

Изложены принципы расширения информационного обеспечения електротехнических комплексов и систем на основе асиметрійних функций.

Викладено принципи розширення інформаційного забезпечення електротехнологічних комплексів та систем на основі асиметрійних функцій.

Постійно існуючі вимоги до підвищення точності та надійності процесів керування в сучасних автоматизованих системах керування (АСК) гірничих електротехнологічних комплексів та систем (ГЕТК) не забезпечуються у повному обсязі необхідною оперативною інформацією, що обумовлено як складною структурою та умовами робочого функціонування обладнання в гірничій промисловості, так і недостатніми науковими дослідженнями. На цьому і ґрунтується функціональне протиріччя між вимогою забезпечення оптимальної якості сучасного керування технологічними процесами (ТП) в ГЕТК і обмеженням необхідної та доступної для забезпечення цієї вимоги інформації. Таким чином, формується важлива наукова задача пошуку якісних умовних оцінок інформаційних характеристик діагностичних сигналів, що відповідають робочим режимам ГЕТК. Аналіз структур та інформаційних властивостей дисперсійних функцій дає підставу за аналогією з ними сформувати і запропонувати до застосування при дослідженні динамічних та інформаційних характеристик нелінійних об'єктів керування в АСК ТП ГЕТК нових функцій — асиметрійних [1—4].

При формалізації задач керування складними ГЕТК одномірна асиметрійна функція (функція асиметрії) випадкового сигналу $U(t)$ визначається як невипадкова функція двох аргументів $\gamma_{Mии}(t,v)$, яка для кожної пари значень t і v дорівнює асиметрії умовного математичного сподівання відповідних перетинів сигналу $U(t)$ за виразом

$$\gamma_{Mии}(t,v)=M\left[M\left(U_t\middle|U_v\right)-MU_t\right]^3/\sigma_{ии}^3, \qquad (1)$$

де $M\left(U_t\middle|U_v\right)$ — умовне математичне сподівання значення U_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргумента t відносно значення u_v цієї ж функції при іншому довільному значенні аргумента v; MU_t — математичне сподівання генеральної вибірки сигналу входу $U(t)$; $\sigma_{ии}$ — середнє квадратичне відхилення вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$.

Нормоване значення одномірної асиметрійної функції визначається формулою

$$\lambda_{Mии}^3\left(t,v\right)=\gamma_{Mии}\left(t,v\right)/A\,U_t, \qquad (2)$$

де $\lambda_{Mии}\left(t,v\right)$ — одномірна автоасиметрійна функція випадкового сигналу входу $U(t)$; AU_t — асиметрії генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$.

Для розширення інформаційного забезпечення АСК ТП ГЕТК перспективно використати в структурі асиметрійних функцій інші статистичні характеристики енергоінформаційних сигналів. Так, можливі варіації одномірних автоасиметрійних функцій випадкового сигналу входу $U(t)$ з заміною складової умовного математичного сподівання на вищі умовні оцінки, що визначать їх теж невипадковими функціями двох аргументів, які для кожної пари значень t, v будуть дорівнювати відповідно асиметріям умовних дисперсій, асиметріям умовних асиметрій та асиметріям умовних ексцесів відповідних перетинів сигналу входу $U(t)$

$$\begin{aligned}
\gamma_{Dии}\left(t,v\right)&=M\left[D\left(U_t\middle|U_v\right)-DU_t\right]^3/\sigma_{Dии}^3,\\
\gamma_{Aии}\left(t,v\right)&=M\left[A\left(U_t\middle|U_v\right)-AU_t\right]^3/\sigma_{Aии}^3,\\
\gamma_{Eии}\left(t,v\right)&=M\left[E\left(U_t\middle|U_v\right)-EU_t\right]^3/\sigma_{Eии}^3,
\end{aligned} \qquad (3)$$

де $D\left(U_t\middle|U_v\right)$ — умовна дисперсія значення U_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_v цієї ж функції сигналу при іншому довільному значенні аргументу v; DU_t — дисперсія генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$; $A\left(U_t\middle|U_v\right)$ — умовна асиметрія значення U_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_v цієї ж функції при іншому довільному значенні аргументу v; AU_t — асиметрія генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$; $E\left(U_t\middle|U_v\right)$ — умовний ексцес значення U_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_v цієї ж функції при іншому довільному значенні аргументу v; EU_t — ексцес генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$; $\sigma_{ии}$ — середнє квадратичне відхилення вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$.

За представленими структурами виразів (3) формуються нормовані значення можливих варіацій одномірних автоасиметрійних функцій випадкового сигналу входу $U(t)$ відповідно за формулами

$$\begin{aligned}
\lambda_{Dии}^3\left(t,v\right)&=\gamma_{Dии}\left(t,v\right)/A\,U_t,\\
\lambda_{Aии}^3\left(t,v\right)&=\gamma_{Aии}\left(t,v\right)/A\,U_t,\\
\lambda_{Eии}^3\left(t,v\right)&=\gamma_{Eии}\left(t,v\right)/A\,U_t,
\end{aligned} \qquad (4)$$

де $\gamma_{Dии}\left(t,v\right)$ — одномірна автоасиметрійна функція умовних дисперсій входу $U(t)$; $\gamma_{Aии}\left(t,v\right)$ — одномірна автоасиметрійна функція умовних асиметрій входу $U(t)$; $\gamma_{Eии}\left(t,v\right)$ — одномірна автоасиметрійна функція умовних ексцесів входу $U(t)$.

Більш цінною інформативною оцінкою є одномірна взаємоасиметрійна функція, що визначається як невипадкова функція декількох аргументів $\gamma_{yxu}\left(s,v,t\right)$, і яка для кожної пари значень t, v і s дорівнює асиметрії умовного математичного сподівання перетину одного випадкового сигналу щодо перетинів інших сигналів. Наприклад, для векторів сигналів виходу $Y(s)$ і входу $U(t)$ функція відобразиться так

$$\gamma_{Myu}\left(s,t\right)=M\left[M\left(Y_s\middle|U_t\right)-MY_s\right]^3/\sigma_y^3, \qquad (5)$$

де $M\left(Y_s\middle|U_t\right)$ — умовне математичне сподівання значення Y_s випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(s)$ при довільному значенні аргументу s відносно значення u_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при його довільному значенні заданого аргументу t; MY_s — математичне сподівання генеральної вибірки сигналу виходу $Y(s)$.

Інші варіації одномірних взаємоасиметрійних функцій випадкових сигналів входу $U(t)$ і виходу $Y\left(t\right)$, які визначені через вищі умовні оцінки, що пропонуються до застосування, визначають теж невипадкові функції двох аргументів, які для кожної пари значень t, v будуть дорівнювати відповідно асиметріям умовних дисперсій, умовних асиметрій та умовних ексцесів відповідних перетинів сигналу і відображатися виразами

$$\gamma_{Dyu}\left(s,t\right)=\left[D\left(Y_s\middle|U_t\right)-DY_s\right]^3/\sigma^3_{Dy},$$

$$\gamma_{Ayu}\left(s,t\right)=\left[A\left(Y_s\middle|U_t\right)-AY_s\right]^3/\sigma^3_{Ay}, \qquad (6)$$

$$\gamma_{Eyu}\left(s,t\right)=\left[E\left(Y_s\middle|U_t\right)-EY_s\right]^3/\sigma^3_{Ey},$$

де $D\left(Y_s\middle|U_t\right)$ — умовна дисперсія значення Y_s випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(s)$ при довільному значенні аргументу s відносно значення u_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t; DY_s — дисперсія генеральної вибірки випадкового сигналу виходу $Y(s)$; $A\left(Y_s\middle|U_t\right)$ — умовна асиметрія значення Y_s випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(s)$ при довільному значенні аргументу s відносно значення u_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t; AY_s — асиметрія генеральної вибірки випадкового сигналу виходу $Y(s)$; $E\left(Y_s\middle|U_t\right)$ — умовний ексцес значення Y_s випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(s)$ при довільному значенні аргументу s відносно значення u_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t; EY_s — ексцес генеральної вибірки випадкового сигналу виходу $Y(s)$; σ_y — середнє квадратичне відхилення вибірки випадкового сигналу виходу $Y(s)$.

Представлення множинного асиметрійного відношення на випадок однієї або декількох генеральних вибірок значень енергоінформативних сигналів визначається як одномірна множинна асиметрійна функція

$$\gamma_{u|u}\left(t;v_1,v_2,...,v_n\right)=\frac{M}{\sigma^3_u}\left[M\left(U_t\middle|U_{v_1},...,U_{v_n}\right)-MU_t\right]^3. \qquad (7)$$

де $M\left(U_t\middle|U_{v_1},...,U_{v_n}\right)$ — умовне множинне математичне сподівання значення U_t випадкової функції вибірки сигналу виходу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при його довільному значенні заданого аргументу t.

Тоді одномірна множинна взаємоасиметрійна функція визначиться відповідно як

$$\gamma_{u|u}\left(t;v_1,v_2,...,v_n\right)=\frac{M}{\sigma^3_y}\left[M\left(Y_t\middle|U_{v_1},...,U_{v_n}\right)-MY_t\right]^3. \qquad (8)$$

Одномірні нормовані оцінки знаходяться шляхом поділу кожної з асиметрійних функцій на відповідну їй асиметрію випадкового сигналу в момент часу t

$$\lambda^3_{u|U}\left(t;v_1,v_2,...,v_n\right)=\gamma_{u|U}\left(t;v_1,v_2,...,v_n\right)/A\,U(t); \qquad (9)$$

$$\lambda^3_{y|U}\left(t;v_1,v_2,...,v_n\right)=\gamma_{y|U}\left(t;v_1,v_2,...,v_n\right)/A\,Y(t). \qquad (10)$$

Очевидно, що в кожній точці $t, v_1, v_2, ..., v_n$ зони виміру нормовані одномірні множинні асиметрійні функції представляють собою множинні асиметрійні відношення випадкового значення вибірки інформаційного сигналу в момент часу t і випадкових величин $U_{v_1}, U_{v_2}, ..., U_{v_n}$. Цим визначається ступінь сукупного впливу множини значень випадкового сигналу на задане значення того ж самого сигналу для одномірної автоасиметрійної функції або іншого сигналу для одномірної взаємоасиметрійної функції. В автоасиметрійному випадку функції умовного математичного сподівання $M\left(U_t\middle|u_{v_1},...,u_{v_n}\right)=\varphi_M\left(u_{v_1},...,u_{v_n}\right)$, умовної дисперсії $D\left(U_t\middle|u_{v_1},...,u_{v_n}\right)=\varphi_D\left(u_{v_1},...,u_{v_n}\right)$, умовної асиметрії $A\left(U_t\middle|u_{v_1},...,u_{v_n}\right)=\varphi_A\left(u_{v_1},...,u_{v_n}\right)$ і умовного ексцесу $E\left(U_t\middle|u_{v_1},...,u_{v_n}\right)=\varphi_E\left(u_{v_1},...,u_{v_n}\right)$ є моделями внутрішньої структури інформаційного сигналу $U(t)$, і сила зв'язку по цих моделях визначається одномірними множинними асиметрійними функціями $\gamma_{Mu|U}\left(t;v_1,...,v_n\right)$, $\gamma_{Du|U}\left(t;v_1,...,v_n\right)$, $\gamma_{Au|U}\left(t;v_1,...,v_n\right)$, $\gamma_{Eu|U}\left(t;v_1,...,v_n\right)$. Модель же сукупного впливу $U(v)$ для значень аргументів $v_1, v_2, ..., v_n$ на значення випадкового сигналу $Y(t)$ для кожного t задається функціями множинного умовного математичного сподівання $M\left(Y_t\middle|u_{v_1},...,u_{v_n}\right)=\varphi_M\left(u_{v_1},...,u_{v_n}\right)$, умовної дисперсії $D\left(Y_t\middle|u_{v_1},...,u_{v_n}\right)=\varphi_D\left(u_{v_1},...,u_{v_n}\right)$, умовної асиметрії $A\left(Y_t\middle|u_{v_1},...,u_{v_n}\right)=\varphi_A\left(u_{v_1},...,u_{v_n}\right)$, умовного ексцесу $E\left(Y_t\middle|u_{v_1},...,u_{v_n}\right)=\varphi_E\left(u_{v_1},...,u_{v_n}\right)$ і функціями $\gamma_{My|U}\left(t;v_1,...,v_n\right)$, $\gamma_{Dy|U}\left(t;v_1,...,v_n\right)$, $\gamma_{Ay|U}\left(t;v_1,...,v_n\right)$, $\gamma_{Ey|U}\left(t;v_1,...,v_n\right)$.

Для вирішення практичних задач ідентифікації в АСК ТП ГЕТК можуть бути використані такі основні види асиметрійних функцій. По-перше, узагальнена взаємна асиметрійна функція, що забезпечує одержання характеристики умовної асиметрії щодо процесу $U(t)$ статистичного зв'язку двох випадкових сигналів $X(t)$ і $Y(t)$. При цьому взаємодія двох випадкових сигналів стану $X(t)$ і виходу $Y(t)$ вимірюється при фіксованих у різні моменти часу значеннях сигналу входу $U(t)$. Ця оцінка умовного статистичного зв'язку при автоматизації ГЕТК визначається функцією трьох аргументів у вигляді

$$\gamma_{yx|U}\left(t,v;w\right)= \qquad (11)$$

$$=M\left\{\left[M\left(Y_t\middle|U_w-MY_t\right)\right]^2\left[M\left(X_v\middle|U_w-MX_v\right)\right]\right\}.$$

Значення вагового ступеня за структурними співмножниками залежності сигналів виходу $Y(t)$ від входу $U(t)$ або стану $X(t)$ від входу $U(t)$ визначається повністю умовами розв'язуваної задачі ідентифікації. Типовим прикладом практичного використання даної ідентифікаційної оцінки є взаємодія випадкових сигналів виходу $Y(t)$ і входу $U(t)$ динамічного ГЕТК при фіксованих значеннях випадкових сигналів технологічного та технічного станів $X(t)$. Внутрішній фізичний зміст узагальненої взаємної асиметрійної функції $\gamma_{yu|X}(t,\nu;w)$ полягає в оцінці сили зв'язку між сигналами виходу $Y(t)$ і входу $U(t)$ при заданому стані $X(t)$, коли тіснота їх зв'язку зі станом $X(t)$ визначається відповідними одномірними взаємними асиметрійними функціями $\gamma_{yx}(t,\varepsilon)$ і $\gamma_{ux}(\nu,q)$.

Нормована узагальнена взаємна асиметрійна функція випадкових сигналів виходу $Y(t)$ і входу $U(t)$ щодо сигналу стану $X(t)$ визначається так

$$\lambda^3_{yu|x}(t,\nu;w)=\gamma_{yu|x}(t,\nu;w)\ /\left(A_y^{0.5}(t)A_u^{0.5}(\nu)\right). \tag{12}$$

У виразі (12) випадковий сигнал стану $X(t)$ з позицій задач ідентифікації можна використовувати як фіксуючу умову технологічного або технічного стану, при різних поточних значеннях якого розглядається взаємодія сигналів виходу $Y(t)$ і входу $U(t)$. Узагальнені автоасиметрійні функції аналогічні функції (12), тому що відображають асиметрію лінійного зв'язку між функціями авторегресії по траєкторіях випадкових сигналів. Причому самі функції авторегресії $M\left(U_t\middle|u_w\right)=\psi_{u1}\left(u_w\right)$ і $M\left(U_\nu\middle|u_w\right)=\psi_{u2}\left(u_w\right)$ звичайно є нелінійними.

Асиметрійні функції (12) узагальнено представляють собою коваріації умовних моментних функцій випадкових сигналів. Тому можна розширити їх клас за рахунок введення оцінки умовного зв'язку двох випадкових сигналів $Y(t)$ і $U(t)$ при фіксованих у різні моменти часу w і q значеннях випадкових інформаційних сигналів різних станів $X1(t)$ і $X2(t)$

$$\gamma_{yu|x1x2}(t,\nu;w,q)=$$

$$=\operatorname{cov}\left[M\left(Y_t\middle|X1_w\right)^2,\ M\left(U_\nu\middle|X2_q\right)\right]. \tag{13}$$

Даний вираз дозволяє визначити непрямий асиметрійний зв'язок пари випадкових інформаційних сигналів $Y(t)$ і $U(t)$ через взаємозв'язок двох інших випадкових сигналів станів $X1(t)$ і $X2(t)$. Оскільки кожній обмірюваній парі значень сигналів виходу $Y(t)$ і входу $U(\nu)$ відповідає деякий вектор тимчасових перетинів фонового сигналу стану $X(t)$, то можна використовувати і асиметрійну оцінку умовного зв'язку, обумовлену як узагальнену множинну асиметрійну функцію відповідно до виразу

$$\gamma_{yu|X}(t,\nu;w_1,\ldots,w_n)=$$

$$=\operatorname{cov}\left[M\left(Y_t\middle|X_{w1},\ldots,X_{w_n}\right)^2,\ M\left(U_\nu\middle|X_{w1},\ldots,X_{w_n}\right)\right]. \tag{14}$$

У останньому виразі умовні математичні сподівання $M\left(Y_t\middle|X_{w1},\ldots,X_{w_n}\right)$, $M\left(U_\nu\middle|X_{w1},\ldots,X_{w_n}\right)$ випадкових значень інформаційних сигналів $Y(t)$ і $U(\nu)$ визначаються щодо фонового вектора значень випадкового сигналу $X(t)$ в кінцевій множині точок $w_1,\ldots,w_n$ з діапазону виміру. Поділ функцій $\gamma_{yu|xy}(t,\nu;w,q)$ і $\gamma_{yu|x}(t,\nu;w_1,\ldots,w_n)$ на відповідні значення асиметрій $A_y(t)$ і $A_x(\nu)$ дозволяє одержати їх нормовані значення.

Таким чином, розроблено математичний апарат інформаційних характеристик асиметрійних функцій, що в силу своїх аналітичних та структурних особливостей мають чутливість до градієнта нелінійного зв'язку по горизонталі щільності розподілу ймовірностей значень сигналів з датчиків контролю оперативного технологічного та технічного станів ГЕТК і обумовлюють підвищення точності та достовірності визначення останніх, що може бути використано для збільшення інформаційного забезпечення керування у відповідності до сучасних вимог інтегрованих задач АСК ТП.

1. *Дудля М.А., Мещеряков Л.І.* Діагностика та проектування бурових машин і механізмів: Навч. посібник. — Д.: Національний гірничий університет, 2004. — 268 с.

2. *Мещеряков Л.І.* Базова форма дисперсійної моделі гірничих технологічних комплексів // Сб. науч. тр. НГУ. — 2004. — №20. — С. 209—214.

3. *Мещеряков Л.И.* Математические основы построения дисперсионных диагностических моделей горных электромеханических систем. // Вибрации в технике и технологиях. — 2002. — №1(22). — С. 41—44.

4. *Piwniak G.G., Kaliski M., Zieba A., Mieszczerjakow L.J., Dudla M.A.* Diagnostyka urzadzen wiertniczych. — Krakow—Dniepropietrowsk, 2004. — 174 с.

Надійшла 08.12. 2008