

Операторний метод аналізу перехідних процесів у контактній мережі постійного струму при ненульових початкових умовах

Описано операторний метод аналізу перехідних процесів у контактній мережі постійного струму при ненульових початкових умовах, що дає можливість одержати аналітичні рішення відносно зображень струму й напруги, їх аналітичне або чисельне обернення для знаходження оригіналів. Наведено розрахункові співвідношення й результати моделювання.

Описан операторный метод анализа переходных процессов в контактной сети постоянного тока при ненулевых начальных условиях, включающий получение аналитических решений относительно изображений распределений тока и напряжения, их аналитическое или численное обращение для нахождения оригиналов. Приведены расчетные соотношения и результаты моделирования.

При аналізі аварійних режимів роботи електричних мереж загальноприйнятим є підхід, у якому розподілені параметри мережі замінюються зосередженими [4]. Використання даного підходу дозволяє одержати задовільні результати при аналізі сталих аварійних режимів, проте найчастіше неприйнятне при аналізі перехідних процесів для протяжних ліній електропередачі й контактних мереж. Разом з тим основним видом завод, що знижують стійкість функціонування засобів захисту, є ті, що виникають при комутаціях потужних електроспоживачів [7]. Зокрема, для контактних мереж живлення електрорушійних потягів такими видами комутацій є: пуск двигунів, зміни схем їх з'єднання, повторне включення напруги мережі пристроями АПВ, перехід потягом меж фідерних зон. З іншого боку, сучасною тенденцією розвитку захисних систем від струмів коротких замикань і витоків є створення багатопараметричних засобів, що реагують, у тому числі, на характеристики перехідних процесів при виникненнях аварійних ситуацій [6]. Таким чином, актуальним є розвиток методів аналізу перехідних процесів в електричних колах з розподіленими параметрами.

Найбільш розвиненими й перспективними методами аналізу перехідних процесів у ланцюгах з розподіленими параметрами є методи, що засновані на операторному підході [2]. Даний підхід дозволяє приводити систему диференціальних рівнянь у часткових похідних, що визначає залежності струмів і напруг у ланцюгу від часу й просторової координати, до системи звичайних диференціальних рівнянь щодо зображень струмів і напруг. При нульових початкових умовах зазначена система може бути зведена до двох незалежних однорідних рівнянь, для яких можуть бути отримані загальні аналітичні рішення [2]. У випадку ненульових початкових умов рівняння є неоднорідними й одержання їхніх аналітичних рішень визначається

видом функцій, що вносять збурення.

Перехід від отриманих зображень струмів і напруг до їхніх оригіналів в аналітичний спосіб можливий тільки в тому випадку, якщо зображення представляють собою дрібно-раціональні функції або є лінійними комбінаціями зображень, оригінали яких табульовані [1]. Для інших видів функцій-зображень перехід до оригіналів можливий з використанням чисельних методів [3,5,8,9], які однак передбачають аналітичне подання зображень, що обертаються. Алгоритм, описаний у роботі [9], реалізовано у вигляді розширення Toolbox середовища математичних розрахунків MATLAB. У статті [3] проаналізовано перехідні процеси в довгих лініях при нульових початкових умовах, певні обмеження, що накладаються на параметри ланцюгів, при яких зображення виникаючих струмів і напруг є мероморфними функціями, а також запропонований метод обернення таких зображень.

Метою роботи є розробка операторного методу аналізу перехідних процесів у контактній мережі постійного струму при ненульових початкових умовах. Для досягнення поставленої мети було:

- визначено розподіли струму й напруги в контактній мережі в сталому режимі, що є початковими умовами для аналізу перехідних процесів;
- отримано аналітичні рішення диференціальних рівнянь щодо зображень струмів і напруг, які визначають перехідний процес у мережі;
- 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.

Опис основного матеріалу досліджень. Система хвильових рівнянь для довгої лінії має вигляд

$$\begin{cases} -\frac{\partial u}{\partial x} = L_0 \frac{\partial i}{\partial t} + R_0 i \\ -\frac{\partial i}{\partial x} = C_0 \frac{\partial u}{\partial t} + G_0 u \end{cases}, \quad (1)$$

де $u=u(x, t)$, $i=i(x, t)$ — напруга й струм у точці лінії з координатою x у момент часу t , C_0, G_0, L_0, R_0 — відповідно ємність, провідність, індуктивність і опір одиниці довжини лінії. Застосування до цих рівнянь прямого перетворення Лапласа при ненульових початкових умовах дає систему

$$\begin{cases} -\frac{dU(x, p)}{dx} = Z_0 I(x, p) - L_0 I(x, 0) \\ -\frac{dI(x, p)}{dx} = Y_0 U(x, p) - C_0 U(x, 0) \end{cases}, \quad (2)$$

де $Z_0 = pL_0 + C_0$, $Y_0 = pC_0 + G_0$. Після диференціювання по просторовій координаті й підстановки в рівняння системи (2) значень перших похідних зображень напруги й струму, система набуває вигляд

$$\frac{d^2 U(x, p)}{dx^2} = Z_0 [Y_0 U(x, p) - C_0 U(x, 0)] + L_0 \frac{dI(x, 0)}{dx}, \quad (3)$$

$$\frac{d^2 I(x, p)}{dx^2} = Z_0 [Y_0 I(x, p) - L_0 I(x, 0)] + C_0 \frac{dU(x, 0)}{dx}.$$

Функції початкових умов $I=I(x, 0)$, $U=U(x, 0)$ для довгої лінії, підключеної на початку до джерела постійної напруги з ЕРС E і внутрішнім опором R_g і навантаженої наприкінці на опір R_l , визначаються із системи (1), у якій похідні струму й напруги за часом дорівнюють нулю. У цьому випадку аналогом системи (3) буде система рівнянь

$$\frac{d^2 U(x, 0)}{dx^2} = R_0 G_0 U(x, 0), \quad \frac{d^2 I(x, 0)}{dx^2} = R_0 G_0 I(x, 0). \quad (4)$$

Загальні рішення рівнянь системи (4) мають вигляд

$$\begin{aligned} U(x, 0) &= K_1 \exp(\lambda x) + K_2 \exp(-\lambda x), \\ I(x, 0) &= K_3 \exp(\lambda x) + K_4 \exp(-\lambda x), \end{aligned} \quad (5)$$

де $\lambda = (R_0 G_0)^{0,5}$. Для визначення граничних умов, що дозволяють обчислити значення коефіцієнтів K_1-K_4 , необхідно визначити опір двополюсника, що представляє собою навантаженою лінією. Оскільки збільшення dR опору лінії при зміні її довжини dx становить

$$dR = -R(x) + R_0 dx + \frac{R(x)}{R(x)G_0 dx + 1}, \quad (6)$$

залежність визначається рівнянням

$$dR/dx = G_0 [R_0/G_0 - R^2(x)]. \quad (7)$$

Якщо початок системи координат розташовується у кінці лінії, тобто виконується гранична умова $R(0)=R_l$, інтегрування рівняння (7) дає рішення

$$R(x) = a \frac{F \exp(2\lambda x) - 1}{F \exp(2\lambda x) + 1} \quad \text{при } a > R_l, \quad (8)$$

$$R(x) = a \frac{1 + D \exp(-2\lambda x)}{1 - D \exp(-2\lambda x)} \quad \text{при } a \leq R_l,$$

де $F = \frac{a+R_l}{a-R_l}$, $D = \frac{R_l-a}{R_l+a}$, $a = (R_0/G_0)^{0,5}$. Тепер значення K_1-K_4 можуть бути визначені із систем лінійних рівнянь

$$K_1 + K_2 = U(0, 0) = E_g R(l) / (R(l) + R_g), \quad (9a)$$

$$\lambda K_1 - \lambda K_2 = \frac{dU(x, 0)}{dx} \Big|_{x=0} = -R_0 I(0, 0) = -\frac{E_g R_0}{R(l) + R_g};$$

$$K_3 + K_4 = I(0, 0) = E_g / (R(l) + R_g), \quad (9b)$$

$$\lambda K_3 - \lambda K_4 = \frac{dI(x, 0)}{dx} \Big|_{x=0} = -G_0 U(0, 0) = -\frac{E_g R(l) G_0}{R(l) + R_g},$$

де l — довжина лінії. Рішення систем мають вигляд

$$K_1 = \frac{E_g (\lambda R(l) - R_0)}{2\lambda (R(l) + R_g)}; \quad K_2 = \frac{E_g (\lambda R(l) + R_0)}{2\lambda (R(l) + R_g)}; \quad (10)$$

$$K_3 = \frac{E_g (\lambda - G_0 R(l))}{2\lambda (R(l) + R_g)}; \quad K_4 = \frac{E_g (\lambda + G_0 R(l))}{2\lambda (R(l) + R_g)}.$$

З урахуванням (5) і того, що справедливим є співвідношення

$$-\frac{dU(x, 0)}{dx} = R_0 I(x, 0), \quad -\frac{dI(x, 0)}{dx} = G_0 U(x, 0), \quad (11)$$

система рівнянь (3) може бути записана як

$$\begin{aligned} \frac{d^2 U(x, p)}{dx^2} &= Z_0 Y_0 U(x, p) - [Z_0 C_0 + L_0 G_0] \times \\ &\times [K_1 \exp(\lambda k) + K_2 \exp(-\lambda k)], \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 I(x, p)}{dx^2} &= Z_0 Y_0 I(x, p) - [Y_0 L_0 + C_0 R_0] \times \\ &\times [K_3 \exp(\lambda k) + K_4 \exp(-\lambda k)]. \end{aligned}$$

Ці рівняння є звичайними лінійними диференціальними рівняннями другого порядку, де функції збурення представляються лінійними комбінаціями експонент.

Загальні рішення системи (12) мають вигляд

$$U(x, p) = A_1 \exp(\gamma x) + A_2 \exp(-\gamma x) + B_1 \exp(\lambda x) + B_2 \exp(-\lambda x), \quad (13)$$

$$I(x, p) = -\frac{A_1}{Z_W} \exp(\gamma x) + \frac{A_2}{Z_W} \exp(-\gamma x) + B_3 \exp(\lambda x) + B_4 \exp(-\lambda x),$$

де $Z_W = \left[\frac{(pL_0 + R_0)}{(pC_0 + G_0)} \right]^{0,5} = (Z_0 / Y_0)^{0,5}$ — операторний хвильовий опір, $\gamma = \left[\frac{(pL_0 + R_0)(pC_0 + G_0)}{Z_0 Y_0} \right]^{0,5} = (Z_0 Y_0)^{0,5}$ — операторний коефіцієнт поширення. Члени з коефіцієнтами A_1 — A_2 представляють загальні рішення однорідних рівнянь, що відповідають системі (12) [2], а з коефіцієнтами B_1 — B_4 — часткові рішення неоднорідних рівнянь. Значення коефіцієнтів $\{B_i\}_{i=1, \dots, 4}$ визначаються шляхом підстановки членів-рішень у рівняння (12), де функції збурення представляються експонентами з тими ж показниками

$$\lambda^2 B_i \exp \left[(-1)^{i+1} \lambda x \right] = \gamma^2 B_i \exp \left[(-1)^{i+1} \lambda x \right] - \quad (14)$$

$$-K_i (Z_0 C_0 + L_0 G_0) \exp \left[(-1)^{i+1} \lambda x \right];$$

$$B_i = \frac{K_i (Z_0 C_0 + L_0 G_0)}{\gamma^2 - \lambda^2} = \frac{K_i (Y_0 L_0 + C_0 R_0)}{\gamma^2 - \lambda^2} \frac{K_i}{p}, \quad (15)$$

де величини $\{K_i\}_{i=1, \dots, 4}$ дійсні й визначаються співвідношеннями (9а, б).

Опускаючи проміжні обчислення, аналогічним, які застосовуються при нульових початкових умовах, зображення струму й напруги при ненульових умовах можна представити у вигляді

$$U(x, p) = U_i(p) \operatorname{ch} \left[\gamma (l-x) \right] + \frac{Z_W}{Z_l} \operatorname{sh} \left[\gamma (l-x) \right] \times \left[U_i(p) + L_l i(l, 0) - E_l(p) \right] + \frac{1}{p} \left\{ K_1 \left[\exp(\lambda x) - \operatorname{ch}(\gamma(l-x)) \exp(\lambda x) \right] + K_2 \left[\exp(-\lambda x) - \operatorname{ch}(\gamma(l-x)) \exp(-\lambda x) \right] - Z_W \operatorname{sh}(\gamma(l-x)) \times \left[K_3 \exp(\lambda l) + K_4 \exp(-\lambda l) \right] \right\}; \quad (16)$$

$$I(x, p) = -\frac{U_i(p)}{Z_W} \operatorname{sh} \left[\gamma (l-x) \right] + \frac{1}{Z_l} \operatorname{ch} \left[\gamma (l-x) \right] \times \left[U_i(p) + L_l i(l, 0) - E_l(p) \right] + \frac{1}{p} \left\{ K_3 \left[\exp(\lambda x) - \operatorname{ch}(\gamma(l-x)) \exp(\lambda l) \right] + K_4 \left[\exp(-\lambda x) - \operatorname{ch}(\gamma(l-x)) \exp(-\lambda l) \right] \right\}.$$

$$- \operatorname{ch}(\gamma(l-x)) \exp(\lambda l) \left] + K_4 \left[\exp(-\lambda x) - \operatorname{ch}(\gamma(l-x)) \exp(-\lambda l) \right] - \frac{1}{Z_W} \operatorname{sh}(\gamma(l-x)) \times \left[K_1 \exp(\lambda l) + K_2 \exp(-\lambda l) \right] \}. \quad (17)$$

Тут як $U_i(p)$ позначено зображення напруги на навантаженні, що визначається таким чином

$$U_i(p) = \left\{ E_g(p) - \frac{1}{Z_l} \left[L_l i(l, 0) - E_l(p) \right] \left[Z_W \operatorname{sh}(\gamma l) + Z_g \operatorname{ch}(\gamma l) \right] + L_g i(0, 0) - \frac{1}{p} \left[K_1 \left(1 - \operatorname{ch}(\gamma l) \exp(\lambda l) - \frac{Z_g}{Z_W} \operatorname{sh}(\gamma l) \exp(\lambda l) \right) + K_2 \left(1 - \operatorname{ch}(\gamma l) \exp(-\lambda l) - \frac{Z_g}{Z_W} \operatorname{sh}(\gamma l) \exp(-\lambda l) \right) + K_3 \left(Z_g \left(1 - \operatorname{ch}(\gamma l) \exp(\lambda l) - Z_W \operatorname{sh}(\gamma l) \exp(\lambda l) \right) + K_4 \left(Z_g \left(1 - \operatorname{ch}(\gamma l) \exp(-\lambda l) - Z_W \operatorname{sh}(\gamma l) \exp(-\lambda l) \right) \right) \right] \right\} \left[\left(1 + \frac{Z_g}{Z_l} \right) \operatorname{ch}(\gamma l) + \left(Z_W / Z_l + Z_g / Z_W \right) \operatorname{sh}(\gamma l) \right]^{-1}, \quad (18)$$

де $Z_g = pL_g + R_g$, $Z_l = pL_l + R_l$, $L_g, L_l, R_g, R_l, E_g(p), E_l(p)$ — відповідно операторні опори, індуктивності, активні опори та зображення ЕРС генератора й навантаження.

У роботі [3] показано, що при нульових початкових умовах для лінії без спотворень, а також коли $E_g(p)$ є дрібно-раціональною функцією, зображення $U(x, p)$ і $I(x, p)$ мероморфні й мають кінцеве число полюсів. У цьому випадку для знаходження їхніх оригіналів можна скористатися запропонованим у цій роботі чисельним методом. Члени, що обумовлені ненульовими початковими умовами, у виразах (16)—(18) входять адитивно і є дрібно-раціональними функціями. Отже, при виконанні зазначених обмежень і коли $E_l(p)$ є дрібно-раціональною функцією, $U(x, p)$ і $I(x, p)$ також будуть представляти собою мероморфні функції з кінцевим числом полюсів і для їхнього обертання може бути застосований згаданий метод.

Для тестування співвідношень (16)—(18) розглянуто окремі випадки, що допускають відносно прості аналітичні рішення.

Так, для лінії без спотворень, яка у сталому режимі у своєму початку була підключена до ідеального джерела постійної напруги й працювала без навантаження, а при комутації була коротко-

замкнена у своєму початку, рішення щодо напруги має вигляд

$$\begin{aligned}
 u(x, t) = & \left[K_1 \exp(\lambda x) + K_2 \exp(-\lambda x) \right] 1(t) - \\
 & - \left(K_1 + K_2 \right) \exp(-\lambda x) 1\left(t - \frac{x}{v}\right) - Z_W \left[K_3 \exp(-\lambda x) + \right. \\
 & \left. + K_4 \exp(-\lambda(2l+x)) \right] 1\left(t - \frac{x+l}{v}\right) + \left(K_1 + K_2 \right) \times \\
 & \times \left[\exp(\lambda x) \sum_{k=1}^{+\infty} (-1)^k \exp(-2k\lambda l) 1\left(t - \frac{2kl-x}{v}\right) - \right. \\
 & \left. - \exp(-\lambda x) \sum_{k=1}^{+\infty} (-1)^k \exp(-2k\lambda l) 1\left(t - \frac{2kl+x}{v}\right) \right] - \\
 & - Z_W \left\{ \left[K_3 \exp(\lambda(2l+x)) + K_4 \exp(\lambda x) \right] \times \right. \\
 & \left. + \sum_{k=1}^{+\infty} (-1)^k \exp(-2k\lambda l) 1\left(t - \frac{2(k-1)l-x}{v}\right) \right\} + \\
 & + \left[K_3 \exp(-\lambda x) + K_4 \exp(-\lambda(2l+x)) \right] \times \\
 & \times \sum_{k=1}^{+\infty} (-1)^k \exp(-2k\lambda l) 1\left(t - \frac{2(k+1)l+x}{v}\right) \}. \quad (19)
 \end{aligned}$$

Рішення отримано із системи рівнянь (13) з використанням граничних умов $U(0, p) = 0$, $I(l, p) = 0$ і відповідає сталим режимам до комутації $U(x, 0) = K_1 \exp(\lambda x) + K_2 \exp(-\lambda x)$ й після закінчення перехідного процесу $U(l, +\infty) = 0$.

Для лінії без спотворень, яка у сталому режимі у своєму початку була підключена до ідеального джерела постійної напруги й працювала без навантаження, а при комутації була розімкнена у своєму початку, рішення щодо струму має вигляд

$$\begin{aligned}
 i(x, t) = & \left[K_3 \exp(\lambda x) + K_4 \exp(-\lambda x) \right] 1(t) - \\
 & - \left(K_3 + K_4 \right) \exp(-\lambda x) 1\left(t - \frac{x}{v}\right) + \left[K_3 \exp(-\lambda x) + \right. \\
 & \left. + K_4 \exp(-\lambda(2l+x)) \right] 1\left(t - \frac{x+l}{v}\right) + \left(K_3 + K_4 \right) \times \\
 & \times \left[\exp(\lambda x) \sum_{k=1}^{+\infty} (-1)^k \exp(-2k\lambda l) 1\left(t - \frac{2kl-x}{v}\right) - \right. \\
 & \left. - \exp(-\lambda x) \sum_{k=1}^{+\infty} (-1)^k \exp(-2k\lambda l) 1\left(t - \frac{2kl+x}{v}\right) \right] - \\
 & - \left[K_3 \exp(\lambda(2l+x)) + K_4 \exp(\lambda x) \right] \times \\
 & + \sum_{k=1}^{+\infty} (-1)^k \exp(-2k\lambda l) 1\left(t - \frac{2(k-1)l-x}{v}\right) + \\
 & + \left[K_3 \exp(-\lambda x) + K_4 \exp(-\lambda(2l+x)) \right] \times
 \end{aligned}$$

$$\times \sum_{k=1}^{+\infty} (-1)^k \exp(-2k\lambda l) 1\left(t - \frac{2(k+1)l+x}{v}\right). \quad (20)$$

Рішення отримано із другого рівняння системи (13) з використанням граничних умов $I(0, p) = 0$, $I(l, p) = 0$ і відповідає сталим режимам до комутації $I(x, 0) = K_3 \exp(\lambda x) + K_4 \exp(-\lambda x)$ й після закінчення перехідного процесу $I(l, +\infty) = 0$.

При тестуванні програмної реалізації методу було прийнято наступні параметри лінії, характерні для контактних мереж підземного рудникового транспорту: $C_0 = 2 \cdot 10^{-11}$ Ф/м, $G_0 = 10^{-8}$ Сим/м, $L_0 = 10^{-6}$ Гн/м, $R_0 = 5 \cdot 10^{-4}$ Ом/м, $l = 1$ км. На рис. 1 показані нормовані на максимум просторові розподіли напруги в лінії при перехідному процесі для моментів часу t : 1 – 0,2–0,5T; 3 – T; 4 – 1,75T; 5 – 2,75T; 6 – 3,25T; 7 – 100T; що відповідають рішенню (19); на рис. 2 – просторові розподіли струму в лінії при перехідному процесі для різних моментів часу t : 1 – 0,2–0,5T; 3 – 0,75T; 4 – T; 5 – 1,75T; 6 – 500T; 7 – 501T, що відповідають рішенню (20). Тут $T = l/v$ – час поширення хвилі у лінії.

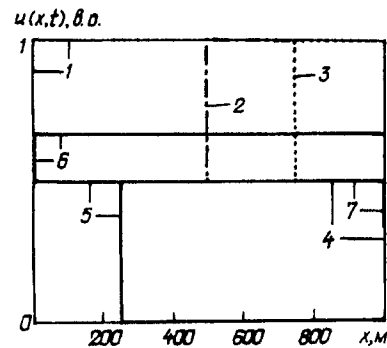


Рис. 1

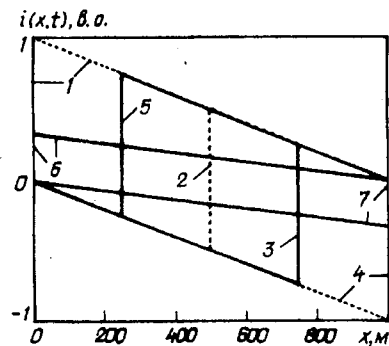


Рис. 2

Залежності, що показані на рис. 1, 2, узгоджуються з відповідними граничними умовами і розподілами у сталих режимах.

Висновки. Таким чином, у роботі визначено розподіли струму й напруги в контактній мережі постійного струму в сталому режимі.

Отримано аналітичні рішення системи диференціальних рівнянь щодо зображень струмів і

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. Казанов 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 на-

хождения 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 электротехнических комплексов и систем на основе асимметричных функций.

Викладено принципи розширення інформаційного забезпечення електротехнологічних комплексів та систем на основі асиметричних 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 сформулювати і запропонувати до застосування при дослідженні динамічних та інформаційних характеристик нелі-