

## ГІПЕРВИПАДКОВІ ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

Уваров Б. М.

### Вступ. Постановка задачі

Проектування радіоелектронного засобу (РЕЗ) – це створення фізичних та математичних моделей майбутнього пристрою, який повинен мати визначені у ТЗ характеристики, що можуть бути подані, як оператори  $Y$ .

Згідно з теорією гіпервипадкових явищ [1], будь-який процес у РЕЗ повинен бути представлений скалярною гіпервипадковою функцією  $Y = \varphi(X_1, \dots, X_n)$ , у яку входять гіпервипадкові величини  $X_i$ , чи векторною  $\vec{Y} = \varphi(\vec{X}_1, \dots, \vec{X}_n)$  із гіпервипадковими скалярними функціями  $\vec{X}_i$ .

Математичні фізичні моделі енергетичних процесів можуть бути знайдені з відомих рівнянь Лагранжа, якщо їх подати у гіпервипадковій формі:

$$\frac{d}{d\tau} \frac{\partial \vec{E}}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial \vec{E}}{\partial q_j} + \frac{\partial \vec{\Pi}}{\partial q_j} + \frac{\partial \vec{\Phi}}{\partial \dot{q}_j} - \vec{Q}_j = 0, \quad j = 1, 2, \dots, k, \quad (1)$$

де  $\vec{E}$  – кінетична енергія,  $\vec{\Pi}$  – потенціальна;  $\vec{\Phi}$  – функція розсіювання енергії (функція Релея);  $\vec{Q}$  – зовнішній силовий вплив;  $q_j$  – узагальнені координати;  $\tau$  – час.

Для всіх первинних величин та функцій необхідно визначити – якщо вони не задані – ймовірнісні характеристики: щільність розподілу  $f_i(x_i)$ , моменти відповідних порядків (математичне сподівання, дисперсію й т.ін.), й тоді ймовірнісні характеристики самих функцій  $Y$  та  $\vec{Y}$  можна знайти аналогічно характеристикам випадкових величин [2].

Первинні величини  $X_1, \dots, X_n$  у функціях РЕЗ у більшості випадків некорельовані (це конструктивні параметри, вхідні впливи), тому ймовірнісні характеристики гіпервипадкових функцій  $Y$  можна визначити:

– щільність розподілу:

$$f_y = f(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n f(x_i); \quad (2)$$

– математичне сподівання:

$$m_y = M[\varphi(X_1, \dots, X_n)] = \int \int \dots \int \varphi(x_1, \dots, x_n) f(x_1, \dots, x_n) dx_1 \dots dx_n; \quad (3)$$

– дисперсія:

$$D_y = D[\varphi(X_1, \dots, X_n)] = \int \int \dots \int_{-\infty}^{\infty} [\varphi(x_1, \dots, x_n)]^2 f(x_1, \dots, x_n) dx_1 \dots dx_n - m_y^2. \quad (4)$$

### Гіпервипадкові характеристики електричних процесів у РЕЗ

Математичні моделі для кожного з таких процесів можуть бути одержані перетворенням рівнянь (1) відомими методами, що визначають зв'язок між вхідним  $x(\tau)$  та вихідним  $y(\tau)$  сигналами у електричних колах – визначенням передаточних функцій  $W(s) = Y(s)/X(s)$  [3].

Прикладом фізичних моделей з гіпервипадковими характеристиками електричних процесів можуть бути чотиріполюсники на рис. 1:

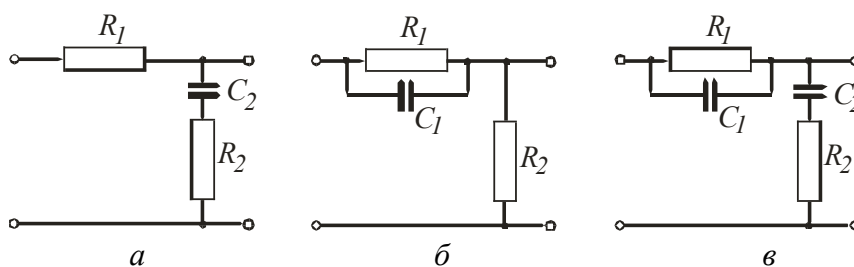


Рис. 1. Послідовні корегуючі чотиріполюсники:  
 а – пропорційно інтегруюче RC-коло; б – форсуюче RC-коло;  
 в – інтегро-диференціююче RC-коло

Передаточні функції для чотиріполюсників:

– для схеми а

$$W(s) = \frac{sT_2 + 1}{sT_1 + 1}; \quad T_2 = R_2C; \quad T_1 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)T_2;$$

– для схеми б

$$W(s) = \frac{sT_2 + 1}{sT_1 + 1} \cdot K; \quad T_2 = R_1C_1; \quad T_1 = \frac{T_2}{1 + \frac{R_2}{R_1}}; \quad K = \frac{T_1}{T_2};$$

– для схеми в

$$W(s) = \frac{(sT_2 + 1)(sT_3 + 1)}{(sT_1 + 1)(sT_4 + 1)}; \quad T_2 = R_2C_2; \quad T_3 = R_1C_1; \quad T_1 = T_2 \frac{R_1 + R_2}{R_2}; \quad T_4 = T_3 \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Вирази для  $W(s)$  можна розглядати, як скалярні гіпервипадкові функції, якщо їх незалежними аргументами вважати сталі часу  $T_i$  та їх співвідношення – коефіцієнт передачі  $K$ . Всі ці аргументи повинні бути випадковими величинами, дисперсії яких повинні бути заданими (вони визначаються, у першу чергу, допусками на їх значення). Тоді для схеми а передаточну функцію  $W(s)$  необхідно розглядати, як двомірну скалярну функцію, для схеми б – як тримірну, для схеми в – як чотиримірну. Щільність розподілу  $W(s)$  може бути знайдена згідно з (2).

Так, для схеми а повинні бути відомі номінальні значення  $T_i$  (їх можна вважати математичними очікуваннями  $mT_i$ ), середньоквадратичні відхилення  $\sigma_i$  (останні можна прирівняти до допускам  $\Delta T_i$ ), й тоді функції розподі-

лу:

$$f_1(T_1) = \frac{1}{\sigma_{T_1} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T_1 - m_{T_1})^2}{\sigma_{T_1}^2}} ; \quad f_2(T_2) = \frac{1}{\sigma_{T_2} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T_2 - m_{T_2})^2}{\sigma_{T_2}^2}} ,$$

математичне сподівання, дисперсія та відхилення для  $W(s)$ :

$$M_{W_s} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{sT_2 + 1}{sT_1 + 1} f_1(T_1) f_2(T_2) dT_1 dT_2 ; \quad (5)$$

$$D_{W_s} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \left( \frac{sT_2 + 1}{sT_1 + 1} \right)^2 f_1(T_1) f_2(T_2) dT_1 dT_2 - M_{W_s}^2 ; \quad \sigma_{W_s} = \sqrt{D_{W_s}} . \quad (6)$$

Можна подати  $W(s)$  як функцію  $R$  та  $C$ , вважаючи останні також гіпервипадковими (внаслідок допусків на їх значення), тоді  $W(s)$  стає їх скалярною функцією:

$$W(s) = \frac{sR_2 C + 1}{s \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) R_2 C + 1} ,$$

для якої:

$$M_{W_s} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W(s) f_1(R_1) f_2(R_2) f_3(C) dR_1 dR_2 dC ; \quad (7)$$

$$D_{W_s} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [W(s)]^2 f_1(R_1) f_2(R_2) f_3(C) dR_1 dR_2 dC - M_{W_s}^2 . \quad (8)$$

Звичайно, за формулами (7), (8) повинні бути одержані такі ж результати, як й за (5), (6), але якщо функція, подібна до  $W(s)$ , залежить від великого числа аргументів, під час обчислення кратних інтегралів може виникнути відмова програмного середовища (такі інтеграли обчислюють, наприклад, за допомогою математичного пакету *MathCad*), що призведе до необхідності створення спеціальних програмних модулів у іншому програмному середовищі (наприклад, у найбільш ефективному *C++Builder*).

### Гіпервипадкові характеристики механічних процесів у РЕЗ

Математичні моделі механічних процесів у РЕА у більшості своїй детерміновані. Наприклад, параметри міцності та жорсткості прямокутної друкованої плати з розмірами  $a \times b$  визначають, розв'язуючи диференціальне рівняння [4]:

$$D \left( \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w(x, y)}{\partial y^4} \right) = p(x, y), \quad (9)$$

де  $D$  – циліндрична жорсткість пластини;  $p(x, y)$  – зовнішня сила, значення якої залежить від координат  $x, y$ .

Циліндричну жорсткість визначають як  $D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}$ , де  $E$  – модуль

пружності матеріалу пластини,  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона.

Обидва останніх параметра визначені для кожного матеріалу експериментально, їх значення наводяться у довідниках; це й є параметри з ймовірносними характеристиками, що призводить до необхідності розглядати їх як гіпервипадкові скалярні чи векторні функції. Враховуючи додатково гіпервипадкові властивості  $p(x,y)$ , знов-таки прийдемо до висновку, що розв'язання рівняння (9) – наприклад, прогини пластини, шарнірно обпертої всіма сторонами [3]:

$$w(x, y) = \frac{4p(x, y)}{D\pi^5} \sum_n^{1,3,5,\dots} \frac{1}{n^5} \left\{ 1 - \left[ 1 + \frac{u_n}{4} \tanh \frac{u_n}{2} \right] \frac{\cosh \frac{n\pi y}{a}}{\cosh \frac{u_n}{2}} + \frac{n\pi y}{a} \frac{\sinh \frac{n\pi y}{a}}{\cosh \frac{u_n}{2}} \right\} \sin \frac{n\pi x}{a}$$

буде гіпервипадковою векторною функцією (у цьому виразу  $u_n = n\pi b/a$ ,  $n = 1, 3, 5, \dots$ ).

Передаточною функцією  $W(\xi, \vartheta)$  у цьому випадку буде співвідношення:

$$W(\xi, \vartheta) = D \frac{w(\xi, \vartheta)}{p(\xi, \vartheta)} = \Phi(\xi, \vartheta), \quad (10)$$

$$\Phi(\xi, \vartheta) = \frac{4}{\pi^5} \sum_n \frac{1}{n^5} \left\{ 1 - \left[ 1 + \frac{u_n}{4} \tanh \frac{u_n}{2} \right] \frac{\cosh n\pi\vartheta}{\cosh u_n/2} + n\pi\xi \frac{\sinh n\pi\vartheta}{\cosh u_n/2} \right\} \sinh n\pi\xi$$

Скалярними функціями у ньому є циліндрична жорсткість  $D$  та зовнішній силовий вплив  $p(x,y)$ , тому  $W(\xi, \vartheta)$  повинна бути векторною.

Для визначення динамічних характеристик ДП (частот власних та вимушених коливань, динамічних деформацій) у якості основної моделі використовують рівняння:

$$m \frac{\partial^2 w}{\partial \tau^2} + D(1 + j\gamma) \left( \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = p(x, y, \tau),$$

де  $m$  – зведена маса пластини;  $\gamma$  – коефіцієнт механічних втрат (КМВ);  $j$  – уявна одиниця;  $\tau$  – час.

Вимушені деформації (прогини) ДП під час коливань [3]:

$$w(x, y) = \sum_i \sum_j \frac{p(x, y)}{2m\omega_0^2} KR_p w_i(\xi) w_k(\vartheta),$$

де  $\omega_0$  – частота власних коливань, яка визначається через жорсткість  $D$ :

$$\omega_0 = \frac{\varphi(\beta)}{a^2} \sqrt{\frac{D}{m}},$$

$\varphi(\beta)$  – т.зв. частотна функція, що залежить від співвідношення сторін пластини  $\beta = a/b$  та способів закріплення сторін;  $w_i(\xi)$  та  $w_k(\vartheta)$  – базисні функції [3]:

$$w(\xi) = \sin(\lambda_i \xi) + a \cos(\lambda_i \xi) + b \operatorname{sh}(\lambda_i \xi) + c \operatorname{ch}(\lambda_i \xi);$$

$$w(\vartheta) = \sin(\lambda_i \vartheta) + a \cos(\lambda_i \vartheta) + b \operatorname{sh}(\lambda_i \vartheta) + c \operatorname{ch}(\lambda_i \vartheta),$$

$\lambda_i$  – корені т.зв. власної форми коливань.

Для різних варіантів закріплення сторін плати значення  $\lambda_i$  та коефіцієнтів  $a, b, c$  наведені у [3].

Аналогічно (10) можна вважати:

$$W(\xi, \vartheta) = 2m\omega_0^2 \frac{w(\xi, \vartheta)}{p(\xi, \vartheta)} = \Psi(\xi, \vartheta), \text{ де } \Psi(\xi, \vartheta) = \sum_i \sum_j KR_p w_i(\xi) w_k(\vartheta).$$

Також, як  $s$  для статичного процесу, скалярною функцією можна вважати зовнішній силовий вплив  $p(x, y)$  та жорсткість  $D$  (остання увійде у вираз для частоти власних коливань  $\omega_0$ ), а  $W(\xi, \vartheta)$  буде гіпервипадковою векторною функцією.

### Гіпервипадкові характеристики теплових процесів у РЕЗ

Модель розповсюдження тепла у РЕЗ, наприклад кондукцією у самій ДП та конвекцією до оточуючого простору – це рівняння Фур'є [5]:

$$\frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y)}{\partial y^2} - \frac{\alpha h}{\lambda} T(x, y) + \frac{1}{\lambda h} q(x, y) = 0,$$

де  $T(x, y)$  – температура пластини у точці з координатами  $x, y$ ;  $q(x, y)$  – тепловий потік від джерела тепла у відповідній зоні пластини;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріала пластини,  $h$  – її товщина;  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні пластини у оточуючий простір.

Вигляд функції температури  $T(x, y)$  для прямокутної пластини із розмірами  $a \times b \times h$ , із джерелами тепла, що виділяється у межах прямокутної ділянки  $\Delta x \times \Delta y$  невеликих, порівняно із розмірами всієї пластини, розмірів, знайдений за допомогою кінцевих інтегральних перетворень, такий:

$$T(x, y) = 16 \sum_{i=1}^k \frac{\text{Bi} \, ab}{\alpha \, h^2 \, \Delta x_i \Delta y_i} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} K_n^2 K_m^2 \frac{I_n(x_i) I_m(y_i)}{\mu_n^2 \frac{b}{a} + \mu_m^2 \frac{a}{b} + \text{Bi} \frac{ab}{h^2}} \times \quad (11)$$

$$\times \left[ \mu_n \cos\left(\frac{\mu_n x}{a}\right) + \text{Bi}_1 \sin\left(\frac{\mu_n x}{a}\right) \right] \cdot \left[ \mu_m \cos\left(\frac{\mu_m y}{b}\right) + \text{Bi}_2 \sin\left(\frac{\mu_m y}{b}\right) \right],$$

$$\text{де } \mu_n = \pi(n-1), \mu_m = \pi(m-1); \text{Bi} = \frac{\alpha h}{\lambda}; \text{Bi}_x = \frac{\alpha a}{\lambda}; \text{Bi}_y = \frac{\alpha b}{\lambda};$$

$$I_n(x_i) = \left[ \cos\left(\frac{\mu_n x_i}{l_1}\right) + \frac{\text{Bi}_1}{\mu_n} \sin\left(\frac{\mu_n x_i}{l_1}\right) \right] \sin\left(\frac{\mu_n \Delta x_i}{l_1} \frac{2}{2}\right);$$

$$I_m(y_i) = \left[ \cos\left(\frac{\mu_m y_i}{l_2}\right) + \frac{\text{Bi}_2}{\mu_m} \sin\left(\frac{\mu_m y_i}{l_2}\right) \right] \sin\left(\frac{\mu_m \Delta y_i}{l_2} \frac{2}{2}\right).$$

Ймовірнісні властивості у виразу (11) повинні мати коефіцієнти  $\alpha$  та  $\lambda$ , параметри джерел тепла  $q(x, y)$ , тому вираз для температури  $T(x, y)$  – векто-

рна гіпервипадкова функція.

Аналог гіпервипадкової передаточної функції для процесу розповсюдження тепла такий:

$$W(\xi, \vartheta) = \frac{T(x, y)}{\sum \frac{q_i}{\Delta x_i \Delta y_i}}.$$

### Гіпервипадкові характеристики показників надійності

Згідно зі стандартами, показники надійності пристроїв РЕА визначаються: для механічних систем – за моделлю *DM*-розподілу, для електричних та електронних – за моделлю *DN*-розподілу.

За *DM*-розподілом ймовірність безвідмовної роботи  $P(x)$  механічної системи визначають за формулами:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u(x)} e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (12)$$

де  $u(x) = \frac{1-x}{v\sqrt{x}}$ ;  $x$  – відносний період часу, для якого визначається  $P(x)$ ;  $v$  – коефіцієнт варіації процесів деградації.

Ймовірносними величинами у виразу (12) необхідно вважати, у першу чергу  $v$  – у стандартах [6] для всіх основних видів руйнування елементів конструкцій його значення наводяться у досить широкому діапазоні, наприклад, для процесів багатоциклової втоми металів  $v = 0,4 \dots 0,8$ ; значення відносного періоду часу  $x$  у ТЗ звичайно задають також у деяких межах.

Розрахунок  $P(x)$  зручно проводити за еквівалентною (12) формулою:

$$P(x, v) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{1-x}{v\sqrt{2x}} \right) \right], \quad (14)$$

тому що у *MathCad*  $\operatorname{erf}(x)$  – вбудована функція.

Якщо прийняти для  $x$  та  $v$  нормальні розподіли, щільність розподілу обох величин буде така:

$$f(x, v) = \frac{1}{\sigma_x \sigma_v 2\pi} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(v-m_v)^2}{2\sigma_v^2}};$$

математичне сподівання та дисперсія:

$$M_{xv} = \int_0^{10} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, v) f(x, v) dx dv; \quad (15)$$

$$D_{xv} = \int_0^{10} \int_{-\infty}^{\infty} (P(x, v))^2 f(x, v) dx dv - M_{xv}^2. \quad (16)$$

Нижня межа інтегрування – “0” взята такою, тому що у формулі (14) параметр  $v$  функції  $\text{erf}(x)$  стоїть у знаменнику (*MathCad* її не обчислює), до того ж значення  $v < 0$  не має сенсу.

За *DM*-розподілом ймовірність безвідмовної роботи  $P(x)$  для електричних та електронних систем визначають за формулами:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[ \int_{-\infty}^{u_1(x)} e^{-\frac{z^2}{2}} dz + e^{\frac{2}{v^2} u_2(x)} \int_{-\infty}^{\frac{z^2}{2}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \right], \quad (17)$$

де  $u_1(x) = \frac{1-x}{v\sqrt{x}}$ ,  $u_2(x) = -\frac{1+x}{v\sqrt{x}}$ .

Формула, еквівалентна (17) з функціями  $\text{erf}(x)$ :

$$P(x, v) = \frac{1}{2} \left\{ \left[ 1 + \text{erf} \left( \frac{1-x}{v\sqrt{2x}} \right) \right] + e^{\frac{2}{v^2}} \left[ 1 + \text{erf} \left( -\frac{1+x}{v\sqrt{2x}} \right) \right] \right\}.$$

Математичне сподівання та дисперсію визначають згідно (15), (16).

### **Процеси у РЕА як векторні гіпервипадкові функції**

Розглянуті вище приклади математичних моделей основних процесів, що відбуваються у РЕА, доводять, що всі вони є функціями з гіпервипадковими характеристиками – скалярними чи векторними.

Скалярними функціями можна вважати вплив зовнішніх факторів  $Q$ , якщо виділити у них незалежні одна від одної складові – механічні, кліматичні, старіння (так, як це передбачено у нормативних документах, коли задаються умови експлуатації РЕЗ). Але внутрішні процеси  $P$  необхідно розглядати як векторні, вони відбуваються у електронних та конструктивних елементах РЕЗ, визначаються розглянутими вище передаточними функціями  $W(\xi, \vartheta)$  – також векторними. Вхідні впливи  $X$  можна вважати скалярними, якщо вони сформовані зовнішніми керуючими пристроями чи оператором, але більш детальний аналіз може виявити й у них вплив факторів, які самі будуть векторними; все це призводить до висновку, що й впливи  $X$  у більшості випадків – векторні.

Таким чином, вирази операторів  $Y(X, P, Q)$  у РЕЗ завжди необхідно розглядати, як векторні функції з усіма їх гіпервипадковими характеристиками, для усіх основних видів процесів, що здійснюються у таких пристроях.

### **Пристрої РЕА як об’єкти з гіпервипадковими властивостями**

У процесі функціонування РЕЗ як системи у ньому одночасно здійснюються різні процеси (позначені операторами  $Y_j$ , основні з них розглянуті вище), але всі вони об’єднуються його функціональним призначенням – функціональні показники РЕЗ можливо представити у вигляді операторів  $Z = (X_1, \dots, X_i, \dots, X_n, Y_1, \dots, Y_j, \dots, Y_m)$ , де  $X_i$  – керуючі впливи.

Для РЕЗ особливість цих процесів полягає у тому, що всі вони, як правило, пов’язані один з одним: температури електронних структурних еле-

ментів одночасно визначаються й зовнішніми тепловими впливами, й виділенням тепла у них самих внаслідок функціонування, а це відображається на показниках надійності; суттєвими зовнішніми впливами є механічні фактори (вібраційні, ударні), які можуть змінити електричні параметри РЕ та ФВ, й також вплинути на показники надійності.

З розглянутих вище характеристик процесів у РЕЗ впливає, що функційно-нальні показники  $\mathbf{Z} = [z_1, z_2 \dots z_i \dots z_n]^T$  є гіпервипадковими функціями, а якщо між ними чи між їх складовими можуть бути взаємні зв'язки, для таких функцій необхідно ввести у розгляд [1]:

– кореляційні функції меж

$$K_{S_z}(t_1, t_2) = M_S [Z(t_1)Z(t_2)], \quad K_{I_z}(t_1, t_2) = M_I [Z(t_1)Z(t_2)];$$

– коваріаційні функції меж

$$R_{S_z}(t_1, t_2) = M_S [(Z(t_1) - m_{S_z})(Z(t_2) - m_{S_z})],$$

$$R_{I_z}(t_1, t_2) = M_I [(Z(t_1) - m_{I_z})(Z(t_2) - m_{I_z})].$$

Гіпервипадкові функції  $Z_1(t)$  та  $Z_2(t)$  некорельовані, якщо їх коваріаційні функції меж  $R_{S_z}(t_1, t_2)$  та  $R_{I_z}(t_1, t_2)$  дорівнюють нулю; а якщо дорівнюють нулю кореляційні функції меж  $K_{S_z}(t_1, t_2)$  та  $K_{I_z}(t_1, t_2)$ , функції ортогональні.

На першому етапі проектування необхідно одержати опис (технічну документацію) РЕЗ з оптимальними показниками якості, й на це повинні бути спрямовані сучасні методи проектування. У їх основу необхідно закласти гіпервипадкові моделі з гіпервипадковими характеристиками фізичних величин та реальних процесів; результатами значень кожного з функціональних показників буде велика кількість останніх, теоретично – нескінченна. З цієї множини необхідно обрати показник, з яким РЕЗ буде найкраще виконувати своє функціональне призначення.

Будь-який показник РЕЗ є гіпервипадковою функцією, її значення будуть знаходитися у межах функції розподілу, а математичні очікування та дисперсії меж даються формулами (3) та (4) [1]. Цю множину значень функції  $\mathbf{Z}(t) = \{Z_1(t), \dots, Z_k(t), \dots, Z_N(t)\}$  можна також, за необхідністю, звести до еквівалентної, використавши умови сходження  $M[|Z_N(t) - Z(t)|^2/u] \rightarrow \min$ , якщо  $N$  достатньо велике, тобто значення  $Z(t)$  з мінімальною дисперсією відображають множину  $\mathbf{Z}(t)$ .

У випадках, коли відомо, що  $Z_i(t)$  – некорельовані скалярні функції, межі множини  $\mathbf{Z}(t)$  можна визначити через її математичне сподівання, дисперсію та середньоквадратичні відхилення:

$$M_Z = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} Z_1, \dots, Z_H \times f(z_1), \dots, f(z_H) dz_1, \dots, dz_H ;$$

$$D_Z = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} (Z_1 - m_{Z1})^2, \dots, (Z_H - m_{ZH})^2 \times f(z_1), \dots, f(z_H) dz_1, \dots, dz_H ;$$



$$\sigma_z = \sqrt{D_z}.$$

Аналогічні співвідношення для визначення множини  $Z(t)$  можна застосувати, якщо  $Z_i(t)$  – некорельовані векторні функції.

### Висновки

У процесі проектування для кожного з функціональних показників РЕЗ, а також й для комплексного показника  $Z(t)$  – цільової функції пристрою – буде одержана множина значень, яка визначається відповідним законом розподілу; межі, у яких знаходиться ця множина, також мають свої закони розподілу.

Одержане технічне рішення – РЕЗ з показником  $Z(t)$  – буде вихідним для наступних етапів проектування, на яких й повинна бути одержана оптимальна конструкція РЕЗ. Оптимальним технічним рішенням може вважатися таке, для якого  $|Z(t) - Z(t)_p| \rightarrow \min$ , де компоненти  $Z(t)_p$  – значення, що були задані у ТЗ.

Досягнення оптимальних показників для РЕЗ повинно здійснюватися методами параметричної оптимізації під час подальшого проектування.

### Література

1. Горбань И.И. Теория гиперслучайных явлений. – Киев: НАНУ/Институт проблем математических машин и систем – 2007. – 184 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей – 8-е изд. – М.: Высш. шк., 2002. – 576 с.
3. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника – М.: Сов. радио, 1982. – 624 с.
4. Бабаков И.М. Теория колебаний: изд. 4-е, испр. – М.: Изд. Дрофа, 2004. – 592 с.
5. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
6. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги.

*Уваров Б. М. Гіпервипадкові функціональні характеристики радіоелектронних засобів. Розглянуті методи визначення функціональних показників РЕЗ під час проектування на основі теорії гіпервипадкових явищ*

**Ключові слова:** гіпервипадкові явища, радіоелектронні засоби

*Уваров Б. М. Гиперслучайные функциональные характеристики конструкций радио-электронных средств. Рассмотрены методы определения показателей конструкций РЭС при проектировании на основе теории гиперслучайных явлений.*

**Ключевые слова:** гиперслучайные явления, радиоэлектронные средства

*Uvarov B.M. The hyperbolic-accidental characteristics of the radioelectronic apparatus. The methods of definition of the designs radioelectronic apparatus parameters during designing on the basis of the hyperbolic-accidental phenomena are considered*

**Key words:** hyperbolic-accidental phenomena, the radioelectronic equipment

УДК 621.37

## РЕШЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ ПРОБЛЕМ ЧИСЛЕННО-СИМВОЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

*Каширский И.С.*

Проектирования любых систем непременно связано с численным решением систем линейных уравнений. Если проектирование выполняется в