

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; τ – 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 чотиріполіусники на рис. 1:

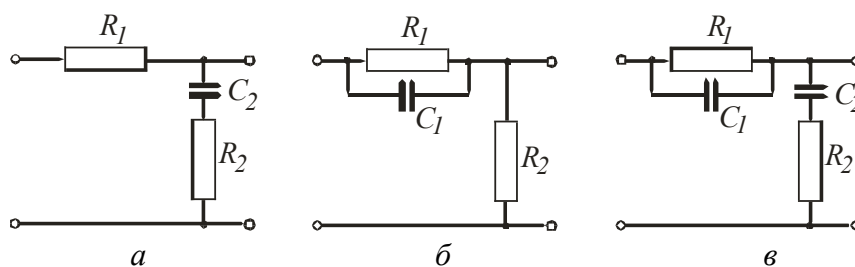


Рис. 1. Послідовні корегуючі чотиріполіусники:
 а – пропорційно інтегруюче RC-коло; б – форсуюче RC-коло;
 в – інтегро-диференціююче RC-коло

Передаточні функції для чотиріполіусників:

– 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 σ_i (останні можна прирівняти до допускам ΔT_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, ν – 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]:

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

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; γ – коефіцієнт механічних втрат (КМВ); j – уявна одиниця; τ – 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 ω_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]:

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

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

λ_i – корені т.зв. власної форми коливань.

Для різних варіантів закріплення сторін плати значення λ_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 ω_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; λ – коефіцієнт теплопровідності матеріала пластини, h – її товщина; α – 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:

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

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

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

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

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

Ймовірнісні властивості у виразу (11) повинні мати коефіцієнти α та λ , 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 випливає, 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