

КОНСТРУЮВАННЯ РАДІОАПАРАТУРИ

УДК 621.306

ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ З ГІПЕРВИПАДКОВИМИ МАКРОПОКАЗНИКАМИ

Уваров Б.М.

Вступ. Постановка задачі

Під час проектування радіоелектронного засобу (РЕЗ) намагаються одержати оптимальне технічне рішення у вигляді комплексу функціональних та конструктивних показників, які найкраще відповідають тим, що були задані у технічному завданні (ТЗ). На перших етапах проектування необхідно створити математичну чи фізичну модель РЕЗ на основі відомих фізичних законів та математичних методів для рівнянь, що відображають процеси у ньому, враховуючи ймовірність фізичних процесів та функціональних характеристик. Всі ці характеристики повинні бути відображені у цільовій функції (ЦФ) – комплексному показнику, який об'єднує всі визначальні параметри та повністю характеризує властивості РЕЗ. Найкращі (оптимальні) РЕЗ можуть бути створені методами, основою яких є гіпервипадкові (ГВ) математичні моделі, комплексна ЦФ, яка відображає функціональні та конструктивні показники пристрою, й дає можливість їх проектування та оптимізації за допомогою системи автоматизованого проектування (САПР).

Гіпервипадкові математичні моделі енергетичних процесів у РЕЗ

Найбільш адекватно математичні моделі енергетичних процесів, які здійснюються у РЕЗ, відображаються як ГВ скалярні та векторні функції, коли кожна з фізичних величин розглядається як ГВ, з відповідними ймовірносними характеристиками [1].

Для відображення ГВ величин та функцій використані позначення: $hV(x)$ – ГВ величини x , $hFs(X)$ – ГВ скалярної функції множини X , $hFv(Y)$ – ГВ векторної функції множини Y ; символ “ \rightarrow ” – загальне позначення ГВ природи величини чи функції.

Функціонування РЕЗ – це передавання та перетворення енергетичних потоків: електро-магнітного поля, теплового, механічного, інформаційного; гіпервипадкові математичні моделі для цих основних процесів можна одержати з системи рівнянь Лагранжа другого роду [2], якщо кожне з них подати у гіпервипадковій формі:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial hFv(T)}{\partial hV(\dot{q}_j)} - \frac{\partial hFv(T)}{\partial hV(q_j)} + \frac{\partial hFv(U)}{\partial hV(q_j)} + \frac{\partial hVv(\Phi)}{\partial hV(\dot{q}_j)} - hFv(Q_j) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, k, \quad (1)$$

де \vec{T} – кінетична енергія, \vec{U} – потенціальна; $\vec{\Phi}$ – функція розсіювання енер-

гії; \bar{Q} – узагальнена сила; q_j – узагальнені змінні.

Вирази для різних форм енергії та функції розсіювання енергії як функцій узагальнених координат q_i : $hFv(T) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n a_i hV(\dot{q}_i)^2$ – для кінетичної

енергії; $hFv(U) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n c_i hV(q_i)^2$ – для потенціальної енергії;

$hFv(\Phi) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n b_i hV(\dot{q}_i)^2$ – для функції розсіювання Релея.

Ймовірнісні характеристики вихідних параметрів РЕЗ можуть бути одержані на основі теорії ГВ явищ швидше й з меншою кількістю обчислень, які потрібно провадити за імітаційним моделюванням із застосуванням, наприклад, методу Монте-Карло.

Створення ЦФ РЕЗ методами теорії подібності

Теорія подібності [3] дає можливість сформулювати вираз для ЦФ РЕЗ у вигляді системи критеріальних рівнянь, у яку входять безрозмірні критерії K_i , кожний з яких характеризує один з основних процесів, що здійснюються у пристрої. Особливість такого виразу ЦФ – до узагальнених змінних q_j , які характеризують відповідний фізичний процес, додані також й параметри, що відображають конструктивні параметри РЕЗ – геометричні (розміри), масогабаритні (масу, моменти інерції), показники стійкості, технологічності, надійності. Одиничні безрозмірні критерії подібності, створені із фізичних величин, звичайно мають форму степеневих комплексів типу

$$K_i = a^\alpha b^\beta c^\gamma d^\delta \dots,$$

де $a, b, c, d \dots$ – розмірні параметри, $\alpha, \beta, \gamma, \delta \dots$ – коефіцієнти впливу відповідного розмірного параметру на критерій K_i .

Одиничні критерії K_i , що відносяться до якоїсь однієї сторони загального процесу (це можуть бути поведінка пристрою за вібраційного впливу, процеси теплообміну у об'єкті й т.п.) об'єднують у частинні критерії \bar{K}_i як

адитивну функцію $\bar{K}_i = \sum_k \phi_{ik} K_i$, де ϕ_{ik} – функції впливу кожного із одиничних критеріїв на частинний.

Система n частинних критеріїв \bar{K}_i характеризує пов'язані процеси, що здійснюються у РЕЗ, тому всі критерії взаємопов'язані. Комплексний показник для всього РЕЗ формується з частинних:

$$\bar{K}_1 = \phi_{11} K_1 + \dots + \phi_{1n} K_n = \sum_{i=1}^n \phi_{1i} K_i, \bar{K}_2 = \phi_{21} K_1 + \dots + \phi_{2n} K_n = \sum_{i=1}^n \phi_{2i} K_i \dots \quad (2)$$

$$\dots \bar{K}_n = \phi_{n1} K_1 + \dots + \phi_{nn} K_n = \sum_{i=1}^n \phi_{ni} K_i$$

Функції ϕ_{ii} із однаковими індексами – основні, визначають найбільший

вплив критеріїв K_i на частинний; із різними – ϕ_{ik} – перехресні, це впливи решти критеріїв K_k на \bar{K}_i , причому перехресні функції взаємного впливу дорівнюють одна одній ($\phi_{ik}=\phi_{ki}$); вони можуть бути визначені різними способами – теоретично, виходячи з математичної моделі процесу, методами теорії оптимізації чи регресійного аналізу.

Формування частинних та комплексного критерію

Частинний критерій макропоказників конструкції \bar{K}_1 повинен відображати загальні конструктивні властивості, вплив технології виготовлення деталей та складальних одиниць на загальні показники якості всього РЕЗ. Одиначні критерії у складі цього частинного – це критерії використання об'єму K_V та технологічності $K_{Тес}$.

Критерій K_V відображає вплив конкретного функціонального призначення, внутрішнього складу та компоновки апарату; всі можливі варіанти корпусу РЕЗ, якими б вони не були – чи індивідуальної конструкції, чи у вигляді уніфікованих типових конструкцій (УТК) – можливо "згенерувати" методом морфологічного синтезу, але вибір оптимального (у тому числі й уніфікованих) потребує безрозмірних критеріїв якості. Масогабаритні показники корпусу РЕА визначають у процесі проектування аналогічними параметрами ЕРЕ та ФВ, які входять до складу всього апарату, а іншими словами – вони залежать від потужності потоків енергії, що циркулюють у ньому. Тому частинний критерій K_V співвідносить потужність, що потрібна апарату для реалізації його функціонального призначення, із його об'ємом V та масою M . Будь-який РЕЗ для власного функціонування потребує електричної енергії від якогось первинного джерела – батареї чи електричної мережі (якщо він не живиться від внутрішнього, що входить у склад самого РЕЗ), тому потужність N , яка потрібна від джерела – один із головних параметрів засобу. Частина цієї потужності може бути використана для створення потоку енергії \bar{N} на виході із апарату (у підсилювача, передавача, випромінювача і т.ін.); для забезпечення функціонування радіоелектронної структури використовується потужність $N_\phi = N - \bar{N}$, вона ж витрачається апаратом, як теплові збитки у оточуюче середовище.

Співвідношення N_ϕ із об'ємом та масою апарату показує досконалість конструктивних рішень, які забезпечують функціонування останнього. Важливими показниками для РЕЗ є параметричні критерії заповнення об'єму корпусу k_3 та використання маси k_m ; $k_3 = \bar{V} / V$ – характеристика раціональності компоновки (\bar{V} – об'єм, зайнятий електрорадіоелементами – ЕРЕ та функціональними вузлами – ФВ); $k_m = \bar{M} / M$ – характеристика маси радіоелектронної структури у апараті (\bar{M} – маса ЕРЕ та ФВ).

Оскільки критерії якості повинні бути безрозмірними, критерій використання об'єму РЕЗ створений у вигляді:

$$hFv(K_V) = \frac{[hV(N) - hV(\bar{N})] hV(T_p)^3 hV(k_m) hV(k_3)^{2/3}}{hV(M) hV(V)^{2/3}}, \quad (3)$$

де T_p – технічний ресурс (чи час безвідмовної роботи) всього апарату.

Показники степені для T_p та V забезпечують безрозмірність самого K_V , а у k_3 та k_m такі ж, як і у параметрів, із якими ці критерії пов'язані (тобто V та M). Вираз (3) – макропоказник конструктивної структури РЕЗ та технічних рішень, що забезпечили її реалізацію: чим менше об'єм та маса корпусу, у якому здійснюється функціонування радіоелектронної структури апарату, тим досконаліше конструкція; видно також, який значний вплив на якість апарату має показник надійності T_p .

ГВ властивості у виразу K_V мають всі величини, що до нього входять, а сам він – ГВ векторна функція. Критерій використання об'єму K_V необхідно нормувати, якщо він повинен увійти у адитивний комплексний критерій \bar{K} .

Технологічна досконалість конструкції може бути визначена за допомогою основних показників технологічності: критеріїв рівня технологічності $K_{рт}$ – за трудомісткістю виготовлення, та $K_{св}$ – собівартості, які безрозмірні, їх можна об'єднати у один: $K_{Тес} = K_{рт} \times K_{св}$. Існують нормативні документи (стандарти), де викладена методика розрахунку вказаних критеріїв.

Частинний критерій макропоказників всієї конструкції:

$$\bar{K}_1 = \phi_{1V} K_{1V} + \phi_{1T} K_{Тес}. \quad (4)$$

Пріоритети ϕ_{1V} та ϕ_{1T} визначає проектувальник конкретного РЕЗ.

Частинний критерій \bar{K}_2 для механічних процесів відображає показники стійкості конструкції РЕЗ під час дії механічних впливів – статичних та динамічних (вібрацій та ударів).

Досконалість системи захисту РЕЗ від вібраційних та ударних впливів оцінені критеріями динамічного підсилення $K_{дин}$ за силового збудження та передачі $K_{кін}$ – за кінематичного [5] як ГВ функції:

$$hFv(K_{дин}) = \frac{hV(s_B)}{hV(s_{ст})} = \frac{1}{\sqrt{[1 - hFs(v)]^2 + 4hFs(\delta)^2 hFs(v)^2}}; \quad (5)$$

$$hFv(K_{кін}) = \frac{hV(s_B)}{hV(s_o)} = \frac{\sqrt{1 + 4hFs(\delta)^2 hFs(v)^2}}{\sqrt{[1 - hFs(v)]^2 + 4hFs(\delta)^2 hFs(v)^2}},$$

де амплітуди переміщень: s_B – вимушених апарату, $s_{ст}$ – статичних від дії зовнішньої періодичної сили, s_B – основи, до якої кріпиться апарат; $v = \omega/\omega_o$ – параметричний критерій розладу (співвідношення частот – зовнішнього періодичного фактору ω та власної ω_o об'єкту); δ – критерій в'язкого демпфірування у віброізоляторах.

Для всіх величин у (5) необхідно визначити їх ГВ характеристики, тобто й самі критерії $K_{дин}$ та $K_{кін}$ – ГВ функції. У дорезонансній зоні ефективність

віброзахисту можна оцінити значеннями $K_{\text{еф}} = 1/K_{\text{дин}}$ та $K_{\text{еф}} = 1/K_{\text{кін}}$ ($K_{\text{дин}} > 1$ та $K_{\text{кін}} > 1$), а у зарезонансній – $K_{\text{еф}} = 1 - K_{\text{дин}}$ чи $K_{\text{еф}} = 1 - K_{\text{кін}}$ ($K_{\text{дин}} < 1$ та $K_{\text{кін}} < 1$). Узагальнене позначення ГВ критеріїв ефективності віброзахисту $K_{\text{Ф}}$.

Несівну спроможності конструкційних матеріалів визначає частинний критерій $K_{\text{м}}$: у елементах конструкції виникають діючі напруження σ , τ , $\sigma_{\text{к}}$ (нормальні, дотичні, контактні); допустимі їх значення $\sigma_{\text{р}}$, $\tau_{\text{р}}$, $\sigma_{\text{кр}}$ визначаються властивостями матеріалів та режимом навантаження деталі.

Згідно з теорією витривалості матеріалів [6] та стандартами, що регламентують методи розрахунків елементів конструкцій на витривалість за циклічних навантажень (завдяки вібраціям та ударам) [7], допустимі нормальні напруження $\sigma_{\text{р}}$ матеріалу деталі повинні визначатися з врахуванням кількості циклів навантаження $N_{\text{с}}$ у процесі експлуатації:

$$hFs(\sigma_{\text{р}}) = hFs(\sigma_{-1}) \left[\frac{hV(N_{\text{б}})}{hV(N_{\text{с}})} \right]^{1/m}, \text{ де } \sigma_{-1} \text{ – межа витривалості матеріалу;}$$

$N_{\text{б}}$ – базове число циклів навантаження, m – показник втоми матеріалу.

Аналогічні залежності існують для визначення допустимих дотичних $\tau_{\text{р}}$ та контактних $\sigma_{\text{кр}}$ напружень.

Параметричні безрозмірні критерії $K_{\text{м1}} = \frac{\sigma}{\sigma_{\text{р}}}$; $K_{\text{м2}} = \frac{\tau}{\tau_{\text{р}}}$; $K_{\text{м3}} = \frac{\sigma_{\text{к}}}{\sigma_{\text{кр}}}$, у

першому наближенні визначають, наскільки використана спроможність матеріалу нести навантаження. Всі ці критерії можна поєднати в один

$$K_{\text{м}} = \left(\frac{\sigma}{\sigma_{\text{р}}} \right)^{\alpha} \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_{\text{р}}} \right)^{\beta} \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{к}}}{\sigma_{\text{кр}}} \right)^{\gamma}, \text{ де } \alpha, \beta, \gamma \text{ - коефіцієнти впливу відповідних на-}$$

пружень на загальну міцність конструкції – останні можуть бути знайдені розрахунками чи методами регресійного аналізу; максимальне значення $K_{\text{м}} = 1$ для пристрою найвищої якості ($K_{\text{м}}$ не може бути більше одиниці – це буде означати перевищення допустимого рівня напружень й можливість руйнування конструктивного елемента під час експлуатації).

Третій складник у частинному критерії \bar{K}_2 – показник надійності конструкції, що враховує механічні напруження. Імовірність безвідмовної роботи $P_i(\tau)$ елемента конструкції, у якому виникають діючі напруження $\sigma_{\text{е}}$, згідно з припущенням про DM -розподіл (дифузійний монотонний) наробітку на відмову [7], визначається відносним строком служби:

$$hFs(x) = \frac{hV(N_{\text{с}})}{hV(N_{\text{б}})} \left[\frac{hV(\sigma_{\text{е}})}{hV(\sigma_{-1})} \right]^m.$$

Імовірність безвідмовної роботи розраховують за формулою:

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

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

Гіпервипадковими у цьому критерії є величини x та v .

Імовірність безвідмовної роботи всієї конструкції, яка складається з n елементів – добуток з імовірностей $P_i(\tau)$, й буде одиничним критерієм $K_{P\sigma}$:

$$K_{P\sigma} = P(\tau) = \prod_{i=1}^n P_i(\tau).$$

У формі адитивного частинний критерій для механічних процесів \bar{K}_2 :

$$\bar{K}_2 = \phi_{2\Phi} K_{2\Phi} + \phi_{2M} K_M + \phi_{2P} K_{P\sigma}. \quad (6)$$

Пріоритети для одиничних критеріїв K_i визначаються згідно з функціональним призначенням РЕЗ: наприклад, для пристрою максимальної надійності найбільш важливим є критерій $K_{P\sigma}$, тому $\phi_{2P} = \lambda_1$; суттєвий вплив на надійність конструкції мають механічні напруження у матеріалі деталей, тому $\phi_{2M} = \lambda_2$; для врахування впливу вібраційних та ударних навантажень залишається останній коефіцієнт впливу $\phi_{2\Phi} = \lambda_3$.

Частинний критерій \bar{K}_3 , що визначається тепловими режимами, має дві складові: частинний критерій K_T , що характеризує тепловий режим у РЕЗ як відношення температур допустимої T_{iP} та діючої T_i для ФВ, ЕРЕ, елементів конструкції: $K_{iT} = T_{iP}/T_i$; частинний критерій надійності конструкції K_{Pt} , що враховує імовірність безвідмовної роботи $P_i(\tau)$ ФВ, ЕРЕ у залежності від їх теплового режиму згідно з припущенням про DN -розподіл (дифузійний немонотонний) наробітку на відмову [7].

Критерій K_T можна сформулювати, розглядаючи значення абсолютних температур: оточуючого середовища T_o ; температур, які забезпечені у апараті – зовнішню корпусу T_k , внутрішню корпусу $T_{вн}$, температур ЕРЕ та ФВ $T_{ел}$ (остання не повинна перевищувати допустиму); енергії, що виділяють ЕРЕ $N_{ел}$, системи підтримки необхідного теплового режиму (вентиляції, охолодження ФВ) у внутрішньому об'ємі $N_{охл}$.

Потужність, що виділяється елементами у внутрішньому об'ємі корпусу $N_{ел}$ та потужність, яка потрібна для роботи системи охолодження $N_{охл}$ повинні бути відведені у оточуюче середовище: $N_{ел} + N_{охл} = N_{зб}$; теплообмін здійснюється через поверхні тепловідводу елементів, що виділяють тепло $F_{ел}$ та зовнішню корпусу F_k ; $k_{ел}$, $k_{вн}$, k_k – критерії тепловіддачі від поверхні елементів до внутрішнього об'єму, від внутрішнього об'єму до корпусу, від корпусу до зовнішнього середовища, відповідно.

Різниця температур: $\Delta T = T_{ел} - T_o = (T_{ел} - T_{вн}) + (T_{вн} - T_k) + (T_k - T_o)$, з умов теплового балансу: $T_{ел} - T_{вн} = \frac{N_{ел}}{k_{ел} F_{ел}}$; $T_{вн} - T_k = \frac{N_{зб}}{k_{вн} F_k}$; $T_k - T_o = \frac{N_{зб}}{k_k F_k}$.

Узагальнена схема теплових потоків у РЕЗ наведена на рис.1.

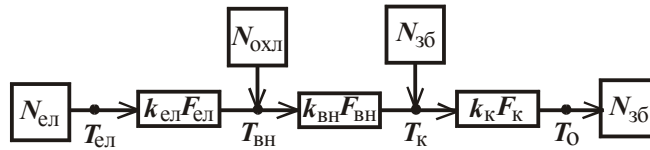


Рис. 1. Схема теплових потоків у РЕЗ

Частинний критерій, що характеризує тепловий режим РЕЗ, одержаний таким:

$$hFv(K_T) = \frac{hV(T_o)}{hV(T_{ел})} = \frac{hV(T_o)hFs(F_k)}{hFs(N_{зб})} \times \frac{1}{\frac{1}{hFs(k_k)} + \frac{1}{hFs(k_{вн})} + \frac{hFs(F_k)}{hFs(k_{ел})hV(F_{ел})} \cdot \frac{hV(N_{ел})}{hFs(N_{зб})} + hV(T_o) \frac{hFs(F_k)}{hFs(N_{зб})}} \quad (7)$$

Внаслідок ГВ властивостей всіх величин, що увійшли у вираз (7), критерій \vec{K}_T – ГВ векторна функція.

Критерій “теплової” надійності конструкції – імовірність безвідмовної роботи $P_i(\tau)$ ЕРЕ в залежності від теплового режиму – розраховують як

$$hFs[P(x)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\int_{-\infty}^{u_1(x)} e^{-\frac{z^2}{2}} dz + e^{\frac{2}{v^2} u_2(x)} \int_{-\infty}^{-\frac{z^2}{2}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \right], \text{ де } \bar{u}_1(x) = \frac{1-\bar{x}}{\bar{v}\sqrt{\bar{x}}}, \bar{u}_2(x) = -\frac{1+\bar{x}}{\bar{v}\sqrt{\bar{x}}},$$

$x = \tau/T_p$ – як й для механічних процесів, відносний строк служби. ГВ у цій функції є величини x, τ, T_p, v .

Імовірність безвідмовної роботи всієї радіоелектронної структури РЕА, яка складається з n елементів – добуток з імовірностей $P_i(\tau)$, й буде частинним критерієм K_{Pt} : $K_{Pt} = P(\tau) = \prod_{i=1}^n P_i(\tau)$.

Частинний критерій для теплових процесів \bar{K}_3

$$\bar{K}_3 = \phi_{3T} K_T + \phi_{3P} K_{Pt}. \quad (8)$$

Система рівнянь (4), (6), (8) утворюють комплексний критерій РЕЗ:

$$\begin{aligned} \bar{K}_1 &= \phi_{1V} K_{1V} + \phi_{1T} K_{Tec}; \\ \bar{K}_2 &= \phi_{2\Phi} K_{\Phi} + \phi_{2M} K_M + \phi_{2P} K_{P\sigma}; \\ \bar{K}_3 &= \phi_{3T} K_T + \phi_{3P} K_{Pt}, \end{aligned} \quad (9)$$

який у згорнутому вигляді такий:

$$\bar{K} = \phi_1 \bar{K}_1 + \phi_2 \bar{K}_2 + \phi_3 \bar{K}_3. \quad (10)$$

Вираз (10) – ЦФ РЕЗ, яку необхідно оптимізувати під час проектування до досягнення необхідного її значення.

Використання частинних критеріїв для визначення характеристик конструкції під час проектування

На початкових етапах проектування конструкції РЕЗ (на етапі технічної пропозиції) з виразів частинних чи параметричних критеріїв завжди можна визначити вимоги до окремих параметрів майбутньої конструкції, а також й до методів досягнення необхідного значення відповідного параметру. Нижче аналізуються можливості оцінок для параметрів, що дають вирази частинних критеріїв.

Вираз (3) для K_V під час проектування визначає, якими повинні бути:

- структурні та схемні рішення для забезпечення потрібного T_p (наприклад, необхідність резервування структурних одиниць);
- якщо заданий технічний ресурс T_p – масогабаритні параметри M (маса) та V (об'єм) корпусу пристрою, а це вимагає вибору відповідної елементної бази (ЕРЕ, ФВ, конструкційних матеріалів) та технології виготовлення;
- якщо задані масогабаритні параметри – елементна база та технологія для забезпечення необхідного T_p .

Вібраційні та ударні впливи, за яких повинен експлуатуватися майбутній РЕЗ, задаються у ТЗ на нього, що й визначає вимоги до системи вібро- та ударозахисту, як значення критеріїв ефективності K_Φ , $K_{\text{дин}}$, $K_{\text{кін}}$. Вирази (5) визначають необхідні характеристики віброізоля-торів, що забезпечать критерії розладу $\nu = \omega/\omega_0$, та критерій в'язкого демпфірування у них δ (фактично – типорозміри віброізоляторів).

Температура T_0 оточуючого середовища, у якому повинен працювати РЕЗ, задається у ТЗ; під час проектування обирають, у першу чергу, елементи “електронної” структури – ЕРЕ та ФВ, з їх допустимими температурами $T_{\text{ел}}$. Тим самим стає відомим необхідне значення $K_T = T_{\text{ел}}/T_0$, а з (7) визначаються потрібні значення параметрів $k_{\text{ел}}$, $k_{\text{вн}}$, $k_{\text{к}}$, $F_{\text{ел}}$, $F_{\text{к}}$, які повинні бути забезпечені під час проектування, вимоги до системи підтримки необхідного теплового режиму у внутрішньому об'ємі корпусу.

Висновки

Вирази для ЦФ у вигляді системи критеріальних рівнянь, створені методами теорії подібності, відображають у цьому комплексному показнику вплив не тільки параметрів енергетичних, механічних і теплових процесів, які відбуваються у РЕЗ, а й властивості його конструктивних елементів, що дає можливість у процесі проектування досягнути найвищого рівня якості оптимізацією впливових параметрів пристрою. ГВ характеристики всіх одиничних та частинних критеріїв, які входять у комплексний – ЦФ – дозволяють з множини одержаних як результат проектування можливих варіантів конструкції обрати такий, характеристики якого найбільш повно відповідають вимогам ТЗ. Комплексний показник РЕЗ у формі системи критеріальних рівнянь, а також вирази одиничних та частинних критеріїв

дають можливість створити на їх основі програмні модулі та використати останні у САПР оптимальних конструкцій РЕА.

Література

1. Горбань И.И. Представление физических явлений гиперслучайными моделями//Математичні машини і системи. – 2007. - № 1. – с. 34-41.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т1. М.: Наука, 1988. – 512 с.
3. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука. 1987.– 432с.
4. Хоменюк В.В. Элементы теории многоцелевой оптимизации. М.: Наука, 1983.
5. Бабаков И.М. Теория колебаний. М.: Наука. - 1968. – 560 с.
6. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов.— К.: Наукова думка, 1988. – 736 с.
7. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності.

Загальні вимоги.

Уваров Б.М. Проектування та оптимізація конструкцій радіоелектронних засобів з гіпервипадковими макропоказниками. Розглянуті комплексні показники оптимальних конструкцій радіоелектронної апаратури, які відображають основні функціональні та конструктивні характеристики її пристроїв у вигляді системи критеріальних рівнянь, одержаних методами теорії подібності. Всі показники фізичних процесів і функціональні характеристики апарату подані як гіпервипадкові функції.

Ключові слова: радіоелектронні засоби, оптимальні конструкції, гіпервипадкові функції

Uvarov B.M. Проектирование и оптимизация конструкций радиоэлектронных средств с гиперслучайными макропоказателями. Рассмотрены комплексные показатели оптимальных конструкций радиоэлектронной аппаратуры, отображающие основные функциональные и конструктивные характеристики её устройств в виде системы критеріальных уравнений, полученных методами теории подобия. Все показатели физических процессов и функциональные характеристики аппарата представлены как гиперслучайные функции.

Ключевые слова: радиоэлектронные средства, оптимальные конструкции, гиперслучайные функции

Uvarov B.M. Designing and optimization of designs of radioelectronic devices with hyper-accidental macroindexes. The complex parameters of optimum designs of the radioelectronic equipment displaying basic functional and constructive characteristics of devices as system of the criterial equations received by methods of the theory of similarity are considered. All parameters of physical processes together with functional characteristics of the device are submitted as hyper-accidental of function.

Keywords: radioelectronic equipment, optimal construction, hyper-accidental function

УДК 691.391.052

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОФІЛЮ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ ХВИЛЕВОДУ ЗА КОЕФІЦІЄНТОМ ЛОКАЛІЗАЦІЇ

Левандовський В.Г.

В сучасному виробництві постійно виникає потреба у зменшенні втрат при з'єднанні хвилеводу з пристроями інтегральної оптики (лазери, фільтри, модулятори та ін.). Висока ступінь локалізації потужності хвилеводних мод сприяє зменшенню втрат, пов'язаних із поглинанням в матеріалі оболонки, а також, на шерехатостях границі розділу середовищ. Однак, технологічний пошук відповідного профілю показника заломлення (ПЗ) і технологія виго-