

ВИБІР СТРАТЕГІЇ ПРИЗНАЧЕННЯ ІНТЕРВАЛЬНИХ ДОПУСКІВ

Розглянуто особливості призначення номінальних допусків при інтервальному законі розподілу і зміні властивостей елементів в процесі експлуатації радіоелектронних пристроїв. Враховуються інтервальні коефіцієнти зовнішніх впливів. Отримано співвідношення для оптимального значення допустимих відхилень параметрів в стратегіях рівних допусків, максимального об'єму допускової області, мінімальної вартості і оптимального співвідношення ціна/якість.

Ключові слова: інтервальні допуски, зовнішні впливи, стратегії, мінімальна вартість.

ВСТУП

Одним із головних завдань при проектуванні радіоелектронної апаратури є забезпечення заданої точності характеристик пристроїв впродовж усього життєвого циклу апаратури. В процесі експлуатації на апаратуру діють різноманітні зовнішні фактори (кліматичні, радіаційні впливи, старіння та інше). Дія окремого зовнішнього фактору або сукупності зовнішніх чинників призводить до змін параметрів елементів радіоапаратури і значно впливає на точність її характеристик.

Проблема забезпечення точності вихідних характеристик і параметрів радіоелектронної апаратури вирішується в процесі допускового проектування. Призначення інтервальних допусків з урахуванням зовнішніх впливів розглянуто в [1], де оптимізація параметрів відбувається за умови досягнення максимального об'єму допускової області. На можливість використання інших критеріїв оптимізації інтервальних допусків вказано в [2]. Але до цього часу розширення стратегій оптимізації при призначенні інтервальних допусків з використанням сучасних моделей вихідних функцій не розглядалось.

Метою роботи є дослідження параметрів різних стратегій оптимізації для допускового проектування з урахуванням зовнішніх впливів, інтервального розподілу параметрів і різних варіантів реалізації електронних схем. Для досягнення поставленої задачі необхідно розглянути:

- методи формування інтервальних моделей вихідних функцій з урахуванням самого несприятливого сполучення зовнішніх впливів;
- оптимальні співвідношення для призначення інтервальних допусків за різними стратегіями оптимізації;
- параметри різних стратегій допускового проектування для різних варіантів реалізації електронних схем.

В процесі дослідження використовувалися стратегії: максимального об'єму допускової області (V -стратегія); рівних допусків (δ -стратегія); мінімальної вартості (P -стратегія) та оптимального співвідношення ціна/якість (P/V -стратегія).

1. ФОРМУВАННЯ ІНТЕРВАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ВИХІДНИХ ФУНКЦІЙ

Інтервальна оцінка параметра елемента з урахуванням змін, обумовлених технологією виготовлення та дією зовнішніх чинників, має вигляд:

$$\mathbf{x}_e = \mathbf{x}_r \mathbf{d}_e, \quad (1)$$

де $\mathbf{x}_e = [\underline{x}_e; \overline{x}_e]$ та $\mathbf{x}_r = [\underline{x}_r; \overline{x}_r]$ – інтервали експлуатаційної й номінальної зміни параметра елемента; $\mathbf{d}_e = [\underline{d}_e; \overline{d}_e]$ – інтервал відносної зміни параметра при зовнішньому впливі; $\underline{x}_e, \overline{x}_e, \underline{x}_r, \overline{x}_r, \underline{d}_e, \overline{d}_e$ – нижні й верхні межі інтервалів $\mathbf{x}_e, \mathbf{x}_r$ та \mathbf{d}_e .

Межі інтервалу \mathbf{d}_e визначаються за допомогою співвідношень:

$$\underline{d}_e = \inf\{\underline{d}_M, \overline{d}_M, \underline{d}_\Pi, \overline{d}_\Pi\}, \quad \overline{d}_e = \sup\{\underline{d}_M, \overline{d}_M, \underline{d}_\Pi, \overline{d}_\Pi\},$$

де $\underline{d}_M = 1 + \underline{c}_M w_{z_M}$, $\overline{d}_M = 1 + \overline{c}_M w_{z_M}$, $\underline{d}_\Pi = 1 + \underline{c}_\Pi w_{z_\Pi}$, $\overline{d}_\Pi = 1 + \overline{c}_\Pi w_{z_\Pi}$; $\underline{c}_M, \overline{c}_M, \underline{c}_\Pi, \overline{c}_\Pi$ – нижні й верхні значення меж інтервалів зміни коефіцієнтів зовнішніх впливів при зовнішніх факторах z_M та z_Π ; $w_{z_M} = z_M - z_r$ та $w_{z_\Pi} = z_\Pi - z_r$ – ширина нижнього й верхнього відхилень зовнішнього впливу; z_r – номінальне значення зовнішнього впливу.

Одночасний вплив кількох зовнішніх факторів враховується у вигляді добутку інтервалів відносної зміни параметра при кожному зовнішньому впливі:

$$\mathbf{d}_e = \prod_{j=1}^q \mathbf{d}_{ej}, \quad (2)$$

де q – кількість зовнішніх впливів; \mathbf{d}_{ej} – інтервал відносної експлуатаційної зміни параметра при j -ому зовнішньому впливі.

Вирази (1)–(2) відповідають взаємозалежній дії зовнішніх факторів на елемент і дозволяють проводити

оцінки інтервалів зміни параметрів елементів в процесі експлуатації. Але при оцінюванні інтервалів зміни вихідних функцій радіоелектронних апаратів необхідно врахувати, що кожний із зовнішніх факторів діє одночасно на всі елементи.

Формування області працездатності й допусккових областей при зовнішніх впливах показано на рис. 1, де Ω_w – область працездатності; Ω_r – допусква область при нормальних умовах навколишнього середовища на початку експлуатації; Ω_{m1n2} і Ω_{n1m2} – допусккові області при одночасному впливі нижніх (м) та верхніх (п) граничних значень зовнішніх факторів z_1 й z_2 . Гіперповерхні $\underline{y}_r, \bar{y}_r, \underline{y}_e$ і \bar{y}_e визначають нижні і верхні значення вихідної функції та обмежують область працездатності при нормальних умовах навколишнього середовища й при найнесприятливішому сполученні зовнішніх впливів.

При призначенні допусків формуються інтервальні моделі вихідних функцій у вигляді дотичних гіперплощин до меж області працездатності в межових вершинах допусквої області [3]. На рис. 1 дотичні гіперплощини при нормальних умовах навколишнього середовища мають позначення \underline{S}_r й \bar{S}_r . Зовнішні впливи змінюють координати вершин допусквої області, в результаті чого інтервальне рівняння гіперплощин приймає вигляд:

$$\mathbf{y} = \mathbf{a}_0 + \sum_{i=1}^n \mathbf{a}_i x_{ri} \mathbf{d}_i, \quad (3)$$

де $\mathbf{y} = [\underline{y}; \bar{y}]$ – інтервал зміни вихідної функції; \underline{y}, \bar{y} – нижнє і верхнє значення вихідної функції; $\mathbf{a}_i = [a_i; \bar{a}_i]$, $\mathbf{a}_0 = \mathbf{y}_r - \sum_{i=1}^n \mathbf{a}_i x_{ri}$ – інтервальні коефіцієнти розкладання вихідної функції в ряд Тейлора при номінальних відхиленнях параметрів; $\mathbf{d}_i = [d_i; \bar{d}_i]$ – інтервал відносної зміни параметрів елементів при нижньому і верхньому значеннях вихідної функції; n – кількість електрорадіоелементів.

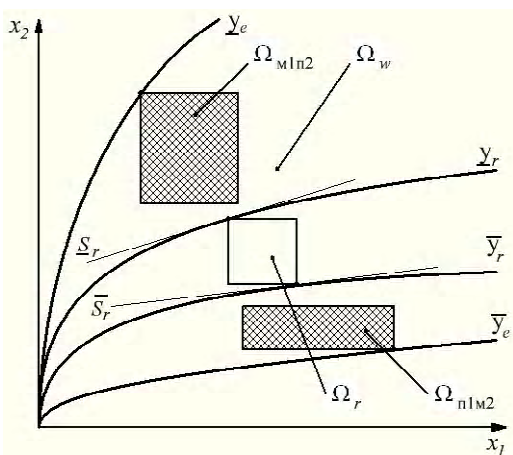


Рис. 1. Формування області працездатності й допусккових областей при зовнішніх впливах

Формування відносної зміни параметрів елементів проводиться з урахуванням інтервальних коефіцієнтів зовнішніх впливів, одночасного впливу зовнішніх факторів на всі елементи радіоелектронного апарата за місцем їхнього розташування й самого несприятливого сполучення зовнішніх впливів. Процедура проводиться для кожної із межових вершин допусквої області. У зв'язку з нелінійністю вихідних функцій радіоелектронних апаратів використовуються ітераційні алгоритми. Початкові наближення призначаються за умовою, що номінальні значення параметрів елементів при зовнішніх впливах збігаються з їхніми заданими значеннями при нормальних умовах експлуатації. Координати межових точок, отриманих у результаті призначення допусків при цих умовах, перераховуються до нормальних умов експлуатації, що дозволяє визначити номінальні границі області працездатності й призначити номінальні допуски в першому наближенні. Модель (3) при переході до відносних відхилень параметрів перетворюється до вигляду:

$$\sum_{i=1}^n a_i x_{ri} \delta_i = \underline{b}; \quad \sum_{i=1}^n \bar{a}_i x_{ri} \bar{\delta}_i = \bar{b}, \quad (4)$$

де x_{ri} – номінальні значення параметрів елементів; δ_i і $\bar{\delta}_i$ – нижні й верхні припустимі відхилення параметрів електрорадіоелементів від їхніх номінальних значень;

$$\underline{b} = \underline{y} - \underline{a}_0 - \sum_{i=1}^n a_i x_{ri}; \quad \bar{b} = \bar{y} - \bar{a}_0 - \sum_{i=1}^n \bar{a}_i x_{ri}.$$

Співвідношення (4) мають нескінченну кількість рішень. Тому вибір відхилень параметрів елементів відбувається в залежності від умов оптимізації, що задаються цільовими функціями у відповідності із стратегією оптимізації.

2. СТРАТЕГІЇ ПРИЗНАЧЕННЯ ДОПУСКІВ

У стратегії *рівних допусків* приймається, що допустимі відхилення усіх електрорадіоелементів однакові. Цільова функція δ -стратегії записується у вигляді:

$$\delta = |\delta_i| = \text{idem}, \quad (i = \overline{1, n}), \quad (5)$$

де δ_i – відносна зміна параметрів електрорадіоелементів. Задача вирішується при обмеженнях вихідної функції:

$$y \in [\underline{y}; \bar{y}], \quad (6)$$

де \underline{y} і \bar{y} – нижнє й верхнє значення вихідної функції.

У рівняннях (4) знаки коефіцієнтів і відносних відхилень параметрів елементів протилежні. Це дозволяє записати рішення рівнянь (4) у вигляді:

$$\underline{\delta} = |\underline{b}| / \sum_{i=1}^n |a_i| x_{ri}; \quad \bar{\delta} = |\bar{b}| / \sum_{i=1}^n |\bar{a}_i| x_{ri}. \quad (7)$$

Співвідношення (7) у загальному випадку дозволяють сформувати допускву область із несиметричними відхиленнями:

$$\underline{\delta}_i = \begin{cases} -\delta_i, & a_i > 0 \\ \delta_i, & \text{інакше} \end{cases}; \quad \bar{\delta}_i = \begin{cases} \bar{\delta}_i, & \bar{a}_i > 0 \\ -\bar{\delta}_i, & \text{інакше} \end{cases} \quad (i = \overline{1, n}).$$

Стратегія *максимального об'єму* допускової області дозволяє перерозподіляти відхилення параметрів елементів з метою зменшення кількості бракованих пристроїв у процесі їхнього виготовлення. Цільова функція *V*-стратегії записується у вигляді:

$$V = \prod_{i=1}^n |\delta_i| \rightarrow \max, \tag{8}$$

де *V* – об'єм допускової області.

Оптимізаційна задача (8) вирішується методом множників Лагранжа. Для цього при обмеженнях вихідної функції знизу складається допоміжна функція:

$$L(\lambda) = \prod_{i=1}^n |\delta_i| + \lambda \sum_{i=1}^n a_i x_{ri} \delta_i, \tag{9}$$

де λ – множник Лагранжа.

Функція (9) досягає екстремального значення при виконанні умов:

$$\prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n |\delta_i| + \lambda a_j x_{rj} \delta_j = 0, (i = \overline{1, n}). \tag{10}$$

Умови (10) можуть записуватися у вигляді співвідношень:

$$a_i x_{ri} \delta_i = a_j x_{rj} \delta_j, (i, j = \overline{1, n}).$$

Підстановка цих співвідношень у рівняння (4) дозволяє визначити оптимальне значення відхилень:

$$\delta_i = \frac{b}{n a_i x_{ri}}, (i = \overline{1, n}). \tag{11}$$

Аналогічно записуються оптимальні співвідношення при інших обмеженнях вихідної функції.

При призначенні допусків з урахуванням цінкових показників використовуються цінкові характеристики. Графічне зображення цінкової характеристики надається на рис. 2, де *P* – ціна електрорадіоелемента; 1 – цінна характеристика конденсаторів; 2 – цінна характеристика резисторів.

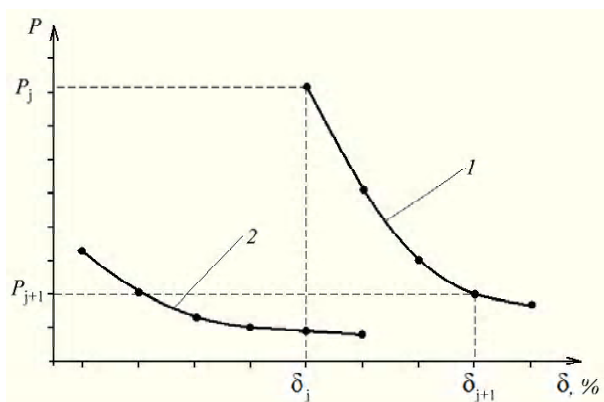


Рис. 2. Цінкові характеристики електрорадіоелементів

Аналітична модель цінкової характеристики, що використовується в процесі оптимізації, має вигляд степеневі функції:

$$P = p_0 \delta^{p_1}, \tag{12}$$

де p_0 і p_1 – коефіцієнти цінкової характеристики.

Для визначення коефіцієнтів моделі цінкової характеристики використовуються цінкові показники при двох різних відносних відхиленнях параметрів:

$$p_1 = \frac{\lg(P_j / P_{j+1})}{\lg(\delta_j / \delta_{j+1})}; p_0 = P_j \delta_j^{-p_1}. \tag{13}$$

При використанні моделі (13) цільова функція *P*-стратегії записується у вигляді:

$$P = \sum_{i=1}^n p_{0i} |\delta_i|^{p_{1i}} \rightarrow \min. \tag{14}$$

Для рішення оптимізаційного завдання складається допоміжна функція, що при обмеженнях вихідної функції знизу має вигляд:

$$L(\lambda) = \sum_{i=1}^n p_{0i} |\delta_i|^{p_{1i}} + \lambda \sum_{i=1}^n a_i x_{ri} \delta_i. \tag{15}$$

Функція (15) досягає екстремального значення при виконанні умов:

$$p_{0i} p_{1i} |\delta_i|^{p_{1i}-1} + \lambda a_i x_{ri} \delta_i = 0, (i = \overline{1, n}). \tag{16}$$

Співвідношення (4) і (16) разом утворюють систему рівнянь із розв'язками:

$$\delta_i = \frac{b}{a_i x_{ri}} \cdot \frac{p_{1i} P_i}{\sum_{i=1}^n p_{1i} P_i}, (i = \overline{1, n}), \tag{17}$$

де P_i – вартість *i*-го елемента.

Аналогічно в *P*-стратегії записуються оптимальні співвідношення при інших обмеженнях вихідної функції.

У стратегії *ціна/якість* оптимальне (мінімальне) відношення загальної вартості елементів до показника якості. Таким показником при допусковому проектуванні може виступати об'єм допускової області, оскільки збільшення цього об'єму призводить до зменшення браку в процесі виготовлення пристроїв. Тоді цільова функція в *P/V*-стратегії набуває вигляду:

$$G = \frac{P}{V_t} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{0i} |\delta_i|^{p_{1i}}}{\prod_{i=1}^n |\delta_i|} \rightarrow \min. \tag{18}$$

Для цільової функції (18) ускладнене отримання оптимізаційних співвідношень. Тому при оптимізації допустимих відхилень параметрів використовується модель цільової функції:

$$G = g_0 + \sum_{i=1}^n g_i |\delta_i|^{p_{li}-1}, \quad (19)$$

де g_0 і g_i – коефіцієнти моделі цільової функції, що визначаються за умовою паралельності дотичних гіперплощин гіперповерхонь (18) і (19):

$$(p_{li} - 1)g_i |\delta_i|^{p_{li}-2} = c_i, \quad (i = \overline{1, n}),$$

де c_i – лінійні коефіцієнти розкладання функції (18) в ряд Тейлора.

При рішенні оптимізаційної задачі P/V -стратегії методом множників Лагранжа з обмеженням вихідної функції знизу створюється допоміжна функція:

$$L(\lambda) = \sum_{i=1}^n g_i \delta_i^{p_{li}-1} + \lambda \sum_{i=1}^n a_i x_{ri} \delta_i.$$

Оптимальні значення допустимих відхилень визначаються із умов:

$$(p_{li} - 1)g_i \delta_i^{p_{li}-2} + 2\lambda a_i^2 x_{ri}^2 \delta_i = 0, \quad (i = \overline{1, n}). \quad (20)$$

Рішення системи рівнянь, утвореної співвідношеннями (4) і (20), призводить до оптимальних значень допустимих відхилень:

$$\delta_i = \frac{b}{a_i x_{ri}} \cdot \frac{h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (i = \overline{1, n}), \quad (21)$$

де $h_i = (p_{li} - 1)g_i P_i / (p_{0i} \delta_i)$.

У праву частину виразу (21) входять невідомі значення відхилення параметрів, що враховуються в ітераційному алгоритмі результатами попередньої ітерації. Існує можливість утворення прямого виразу для допустимих відхилень через параметри цільової і вихідної функцій та цінової характеристики. Однак при цьому збіжність ітераційного процесу значно погіршується. Інші обмеження призводять до виразів подібних (21).

3. ЗАСТОСУВАННЯ СТРАТЕГІЙ ПРИЗНАЧЕННЯ ДОПУСКІВ

Для порівняння стратегій проектування використовувалися коефіцієнти стратегій, які визначалися як добуток нормованих значень показників цільових функцій кожної стратегії:

$$k_i = \prod_{j=1}^m k_{ij}, \quad (22)$$

де m – кількість стратегій проектування; $i, j \in \{\delta; V; P; P/V\}$; k_{ij} – нормовані значення показників цільових функцій.

Нормування середнього значення відхилень і об'єму допускової області проводилося відносно максимального значення цих показників у δ - і V -стратегіях:

$$k_{i\delta} = \frac{\delta_{ci}}{\delta_{\delta}}; \quad k_{iV} = \frac{V_i}{V_V},$$

де δ_{δ} – допустиме відхилення параметрів у δ -стратегії; δ_{ci} – середнє значення допустимих відхилень у інших стратегіях; V_V – об'єм допускової області у V -стратегії; V_i – об'єм допускової області у інших стратегіях.

Нормування параметрів у P - та P/V -стратегіях проводилося за допомогою співвідношень:

$$k_{iP} = \frac{P_p}{P_i}; \quad k_{iP/V} = \left(\frac{P}{V}\right)_{P/V} / \left(\frac{P}{V}\right)_i,$$

де P_p – вартість елементів у P -стратегії; P_i – вартість елементів

у інших стратегіях; $\left(\frac{P}{V}\right)_{P/V}$ – показник ціна/якість у P/V -

стратегії; $\left(\frac{P}{V}\right)_i$ – показник ціна/якість у інших стратегіях.

Добуток коефіцієнтів (22) визначає коефіцієнт допускового проектування:

$$k_t = \prod_{i=1}^m k_i, \quad (23)$$

який може використовуватися для вибору електричних схем фільтрів.

Співвідношення (22) і (23) використовувалися для вибору схем фільтрів нижніх частот, які можуть реалізуватися за неінвертуючою (рис. 3, а) та інвертуючою (рис. 3, б) схемами [4, 5].

Обидві схеми фільтрів забезпечували частоту зрізу смуги пропускання $f_D = 120$ Гц і загасання $a = 1 \pm 1\%$ на частоті 50 Гц. Неінвертуючий фільтр нижніх частот мав номінальні параметри елементів $R_1 = 5,76$ кОм; $R_2 = 15,4$ кОм; $C_1 = 0,18$ мкФ; $C_2 = 0,068$ мкФ, а інвертуючий фільтр мав параметри $R_1 = 35,7$ кОм; $R_2 = 30,9$ кОм; $R_3 = 35,7$ кОм; $C_1 = 0,068$ мкФ; $C_2 = 0,015$ мкФ.

Використовувалися елементи для поверхневого монтажу. Температурні коефіцієнти опорів резисторів у діапазоні температур від -70°C до 20°C мали значення $\pm 50 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, а в діапазоні температур від 20°C до 45°C – значення $\pm 25 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. Температурні коефіцієнти ємності конденсаторів у всьому діапазоні зміни температури задавалися величинами $(0 \pm 30) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. Коефіцієнти старіння резисторів мали значення $\pm 2 \cdot 10^{-7} 1/\text{годину}$, а конденсаторів $\pm 5 \cdot 10^{-7} 1/\text{годину}$. Час напрацювання фільтра становив 30000 годин. Підтримувалася точність обчислень $1 \cdot 10^{-6}$. Цінові характеристики елементів визначалися за двома точками, параметри яких надаються у табл. 1.

Загасання фільтра обчислювалося з допомогою співвідношення:

$$a = \left| 1 + b_1 p + b_2 p^2 \right|,$$

де $p = j\omega$ – комплексна частота; $\omega = 2\pi f$; $j = \sqrt{-1}$; b_i – коефіцієнти вихідної функції.

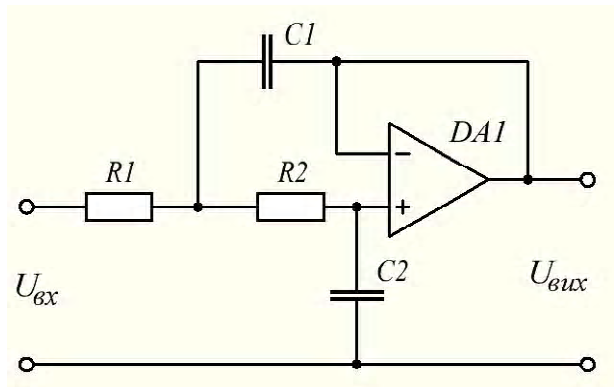
Для неінвертуючого фільтра нижніх частот коефіцієнти b_i визначалися за допомогою співвідношень:

$$b_1 = (R_1 + R_2)C_2; \quad b_2 = R_1 R_2 C_1 C_2.$$

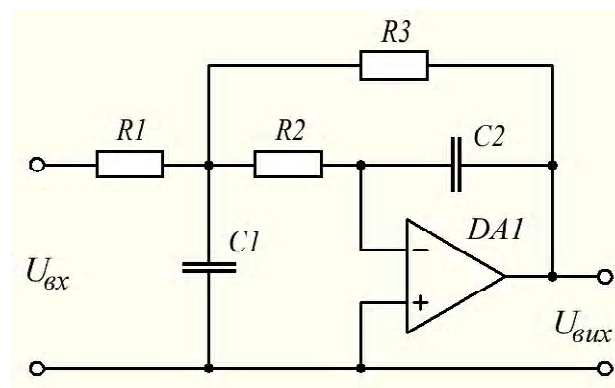
Коефіцієнти вихідної функції для інвертуючого фільтра нижніх частот мали вигляд:

$$b_1 = R_1 C_2 \left(1 + \frac{R_3}{R_2} + \frac{R_3}{R_1} \right); \quad b_2 = R_1 R_2 C_1 C_2.$$

Призначення допусків проводилося для різних схем фільтрів і різних стратегій при нижньому і верхньому



а)



б)

Рис. 3. Схеми фільтрів нижніх частот

Таблиця 1. Цінові характеристики електрорадіоелементів

Елемент	Номинальне значення	Точка визначення			
		1		2	
		P, у.о.	δ, %	P, у.о.	δ, %
R, кОм	1–1000	0,65	0,05	0,14	2
C, мкФ	0,015	1,906	1	0,14	20
C, мкФ	0,068	1,624	1	0,326	20
C, мкФ	0,18	1,525	1	0,26	20

значеннях загасання фільтрів. У обох схемах фільтрів менші допустимі відхилення параметрів формувалися при верхньому обмеженні вихідної функції.

Результати обчислення номінальних допустимих відхилень параметрів елементів неінвертуючого фільтра нижніх частот для різних стратегій проектування надаються в табл. 2. За цими результатами проводити вибір стратегії досить складно, оскільки при цьому не визначається узагальненого критерію проектування. Тому для вибору стратегії проектування обчислювалась матриця коефіцієнтів основних параметрів k_{ij} кожної стратегії, які для неінвертуючого фільтра надаються в табл. 3.

Табл. 3 використовувалася для обчислення коефіцієнтів стратегій за допомогою співвідношень (22). Аналогічні обчислення проведені для інвертуючого фільтра. Результати цих обчислень надаються в табл. 4, яка дозволяє вибрати найбільш привабливу стратегію проектування.

За стратегією рівних допусків інвертуюча схема фільтра має переваги над неінвертуючою схемою. Усі інші критерії надають переваги неінвертуючій схемі фільтра. Але для обох фільтрів найпривабливішою є стратегія ціна/якість. Неінвертуючий фільтр дозволяє використовувати і V-стратегію без суттєвого зменшення коефіцієнта стратегії.

Оцінювання привабливості схем фільтрів за результатами допускового проектування проводилось за допомогою співвідношення (23). Коефіцієнт допускового проектування для неінвертуючого фільтра мав значення $k_t=0,022$. Для інвертуючого фільтра він зменшувався до значення $k_t=0,002$, що надає суттєвої переваги неінвер-

Таблиця 2. Допустимі номінальні відхилення параметрів неінвертуючого фільтра

Стратегія	Відхилення параметрів δ, %			
	R ₁	R ₂	C ₁	C ₂
δ	1,507			
V	2,935	1,975	1,236	1,026
P	0,763	0,556	2,037	1,829
P/V	2,640	1,770	1,350	1,140

Таблиця 3. Матриця основних параметрів стратегій призначення допусків неінвертуючого фільтра

Стратегія	Параметри			
	$k_{\delta i}$	$k_{V i}$	$k_{P i}$	$k_{P/V i}$
δ	1	0,701	0,932	0,779
V	1,190	1	0,818	0,976
P	0,860	0,215	1	0,256
P/V	1,145	0,979	0,857	1

Таблиця 4. Коефіцієнти стратегій проектування фільтрів нижніх частот

Фільтр	Коефіцієнти стратегій проектування			
	k_{δ}	k_V	k_P	$k_{P/V}$
Неінвертуючий	0,509	0,950	0,047	0,960
Інвертуючий	0,536	0,684	0,008	0,789

туючій схемі. Таке зменшення коефіцієнта допускового проектування інвертуючого фільтра пов'язано із більшою чутливістю вихідної функції до зміни параметрів елементів та більшою кількістю елементів.

ВИСНОВКИ

Отримані співвідношення дозволяють призначити допустимі номінальні відхилення параметрів за стратегіями рівних допусків, максимального об'єму допускової області, мінімальної вартості електрорадіоелементів та оптимального співвідношення ціна/якість. Ці стратегії враховують різні підходи до допускового проектування, які оцінюються низкою нормованих параметрів для кожної стратегії. Добуток нормованих параметрів визначає узагальнений коефіцієнт стратегії, який використовується для оцінювання їх привабливості.

У розглянутих схемах фільтрів нижніх частот найпривабливішою є стратегія ціна/якість, яка має найбільший коефіцієнт стратегії у будь-якій схемі фільтра. Відмінність цих коефіцієнтів була незначною тільки у V - та P/V -стратегіях неінвертуючого фільтра нижніх частот.

Вибір схеми фільтра проводився за допомогою коефіцієнта допускового проектування. Цей параметр для неінвертуючого фільтра нижніх частот значно перевищував такий самий показник інвертуючого фільтра. Більша привабливість неінвертуючого фільтра пов'язана з меншою чутливістю вихідної функції до зміни параметрів елементів та меншою кількістю елементів.

Запропоновані методи вибору стратегії проектування і схем можуть використовуватись для інших радіоелектронних пристроїв.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шило, Г. Н. Назначение интервальных допусков методом отображений [Текст] / Г. Н. Шило // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 2009. – № 5. – С. 24–34.
2. Воропай, А. Ю. Назначение интервальных допусков с учетом особенностей элементной базы [Текст] / А. Ю. Воропай, Н. П. Гапоненко, Г. Н. Шило // Электроника и связь. – 2006. – № 1. – С. 21–28.
3. Шило, Г. М. Формування інтервальних моделей для обчислення допусків [Текст] / Г. М. Шило // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2002. – № 1. – С. 90–95.
4. Джонсон, Д. Справочник по активным фильтрам: [Текст] / Д. Джонсон, Дж. Джонсон, Г. Мур.; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 128 с.
5. Знаменский, А. Е. Активные RC-фильтры [Текст] / А. Е. Знаменский, И. Н. Теплюк. – М.: Связь, 1970. – 280 с.

Стаття надійшла до редакції 12.12.2011.

Після доробки 12.09.2012.

Шило Г. Н., Веснин И. Н., Гапоненко Н. П. ВЫБОР СТРАТЕГИИ НАЗНАЧЕНИЯ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ДОПУСКОВ

Рассмотрены особенности назначения номинальных допусков при интервальном законе распределения и изменении свойств элементов в процессе эксплуатации радиоэлектронных устройств. Учитываются интервальные коэффициенты внешних воздействий. Получены соотношения для оптимального значения допустимых отклонений параметров в стратегиях равных допусков, максимального объема допусковой области, минимальной стоимости и оптимального соотношения цена / качество.

Ключевые слова: интервальные допуски, внешние воздействия, стратегии, минимальная стоимость.

Shilo G. M., Vesnin I. M., Gaponenko M. P. CHOOSING THE STRATEGY OF INTERVAL TOLERANCES' ASSIGNMENT

Peculiarities of assigning the nominal tolerances for interval distribution law and changing the properties of components in the operation of electronic devices are considered. Interval coefficients of external influences, aging and simultaneous action of several external factors and placement of electronic components into devices are taken into account. The model of output function is formed for the worst case of external influence composition.

To assign rating tolerances the coordinates of boundary points are recalculated to normal operating conditions. The optimal value of parameter deviations are obtained by equal tolerances, the maximum volume of tolerance region, the minimum cost and the optimal cost / quality relation strategies. Cost characteristic of electronic components are used. Volume tolerance is a measure of the quality. If it increases, manufacturing defects are reduced.

The strategies of tolerance design are compared. Matrices of basic parameters and vertex of strategy coefficients are formed. To choose strategy the coefficients of design strategies are compared. To choose electric circuit the coefficients of tolerance design are used. The application example of proposed methods is given.

Key words: interval tolerance, external influences, strategy, the minimum cost.

REFERENCES

1. Shilo G. N. Specification of Interval Tolerances by the Mapping Method, *Radioelectronics and Communications Systems*, 2009, Vol. 52, No. 5, pp. 240–247.
2. Voropay A. Yu., Gaponenko N. P., Shilo G. N. Naznachenie interval'nyh dopuskov s uchetom osobennostej jelementnoj bazy (Assigning interval tolerances in view of features of components), *Jelektronika i svjaz'*, 2006, No 1, pp. 21–28.
3. Shilo G. N. Forming interval model for calculating tolerances, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2002, No.1, pp. 90–95.
4. Johnson D. E., Johnson J. R., Moore H. P. *A handbook of active filters*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1980, 244 p.
5. Znamenskij A. E., Tepljuk I. N. *Aktivnye RC-fil'try (Active RC-filter)*. Moscow, Svjaz', 1970, 280 p.