

РАДИОЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

РАДИОЕЛЕКТРОНИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

RADIO ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 621.396.6

Єфіменко А. А.

Канд. техн. наук, доцент Одеського національного політехнічного університету

ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ МІЖБЛОЧНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ ДЛЯ ЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

Запропоновано моделі та алгоритми вибору конструкцій електричних з'єднань за критеріями вартості і трудомісткості, показниками якості та ефективності, які дозволяють оптимізувати процес розробки електронних засобів.

Ключові слова: електричні з'єднання, міжконтактні з'єднання, оптимізація вартості, електронні пристрої.

ВСТУП

Існує досить велика кількість варіантів конструктивно-технологічного виконання міжблочних електричних з'єднань електронних засобів (ЕЗ), які розглядаються у двох нерозривно зв'язаних між собою аспектах – міжконтактні з'єднання і контактні з'єднання (власне контактування). Різноманіття варіантів об'єднання міжконтактних з'єднань (видів електричних з'єднань) і контактних з'єднань (методів електричних з'єднань), які мають різні техніко-економічні показники, приводить до необхідності визначення оптимальних варіантів конструкцій електричних з'єднань на базі впровадження математичного апарату та широкого застосування засобів обчислювальної техніки і є актуальною задачею.

У свою чергу, обумовлюється актуальність розвитку методологічних аспектів проектування, що включають у себе виявлення і дослідження комплексу практично необхідних вимог до перспективних електричних з'єднань, розробку системи класифікації їхніх параметрів і показників якості, математичну постановку задач синтезу оптимальних варіантів електричних

з'єднань. Важливим є також ефективність методів проектування, що впроваджуються, – вони повинні забезпечувати високу достовірність результатів при незначних матеріальних та часових затратах.

Дослідження в напрямку вирішення даних проблем не носять систематичного характеру і останнім часом обмежуються розробкою нових видів та методів електричних з'єднань без створення об'єктивних засобів їх аналізу та оптимального використання, наприклад [1–5]. Попередні дослідження (деякі з них представлені в [6–10]) потребують врахування розвитку теорії та практики створення ЕЗ і використання сучасних можливостей обчислювальної техніки та програмних засобів проектування. Крім того, слід враховувати, що розробка оптимальної конструкції електричних з'єднань являє собою досить складну науково-технічну задачу, тому що вибір необхідно вести за багатьма критеріями та при різних обмеженнях, що накладаються на умови задачі та елементи її рішення. Це створює передумови для розробки та використання достатньо великої множини моделей оптимізації [11].

Метою даної статті є розробка моделей та алгоритмів вибору (синтезу) і оптимізації конструкцій електричних з'єднань в електронних засобах, які можна було б використовувати на ранніх стадіях проектування. При цьому доцільно використовувати різні критерії і, відповідно, моделі з метою надання розробникам ЕЗ різних можливостей щодо деталізації початкових даних і достовірності результатів оптимізації.

З метою врахування всіх можливих варіантів конструкцій електричних з'єднань дуже важливим є розгляд всіх їх складових елементів, а також тих інфраструктур, де вони будуть використовуватись.

Зважаючи на суттєвий взаємовплив електричних з'єднань та інших частин ЕЗ, можна зробити висновок, що електричні з'єднання є важливою частиною електронних засобів і потребують найбільш пильної уваги при їх проектуванні за умов отримання оптимальних результатів. Вирішуючи задачу розробки електричних з'єднань у складі ЕЗ, можна керуватися схемою, представленою на рис. 1, на якій конкретизовано деякі роботи (штрих-пунктирною лінією ок-

реслені блоки, що стосуються розробки електричних з'єднань). На схемі використані позначення: ТЗ – технічне завдання; ЭЗ – схема електрична принципова; ПЭЗ – перелік елементів до схеми електричної принципової; НК – несучі конструкції; КД – конструкторська документація.

Відповідно до розглянутої схеми важливою частиною створення електричних з'єднань є вибір їх структури (варіантів конструкції) та її оптимізація.

Вибір оптимального варіанту конструкції електричних з'єднань доцільно вести за такими напрямками:

- 1) мінімальна вартість;
- 2) мінімальна трудомісткість;
- 3) максимальні показники якості;
- 4) максимальні показники ефективності.

Ці варіанти не рівноцінні як з точки зору затрат на їх реалізацію, так і з позицій достовірності результатів оптимізації. Звичайно і використання тих чи інших варіантів є прерогативою розробників ЕЗ і залежать від умов, в яких вони діють.

Нижче наведено математичні моделі оптимізації, що відповідають розглянутим напрямкам.



Рис. 1. Процес розробки ЕЗ з конкретизацією деяких робіт зі створення електричних з'єднань

МОДЕЛІ ВИБОРУ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ

1. Мінімізація вартості електричних з'єднань

В цьому випадку модель вибору структури (варіанта конструкції) електричних з'єднань ЕЗ може бути представлена як

$$K_1 = \min \sum_{i=1}^n C_i \quad (1)$$

при обмеженнях $a \in a_{\text{доп}}$, $r \in r_{\text{доп}}$, $h \in h_{\text{доп}}$, де a , r , h – відповідно типи міжконтактних, контактних з'єднань і елементів кріплення, які лежать в області припустимих типів $a_{\text{доп}}$, $r_{\text{доп}}$, $h_{\text{доп}}$; n – кількість складових частин конструкції електричних з'єднань; $C = \{M, Q, P\}$ – вартість електричних з'єднань; $M \subset \{M_1, M_2, \dots, M_a, \dots, M_s\}$ – множина вартостей міжконтактних з'єднань M , що складається з вартостей окремих типів міжконтактних з'єднань; s – кількість типів міжконтактних з'єднань; $Q \subset \{Q_1, Q_2, \dots, Q_r, \dots, Q_t\}$ – множина вартостей контактних з'єднань Q , що складається з вартостей окремих типів контактних з'єднань; t – кількість типів контактних з'єднань; $P \subset \{P_1, P_2, \dots, P_h, \dots, P_l\}$ – множина вартостей елементів кріплення P , що складається з вартостей окремих типів кріплення; l – кількість типів елементів кріплення.

У свою чергу

$$M_a = \sum_{k=1}^d m_k, Q_r = \sum_{v=1}^z q_v, P_h = \sum_{w=1}^g p_w,$$

де m_k – вартість окремих складових міжконтактних з'єднань; q_v – вартість окремих складових контактних з'єднань; p_w – вартість окремих складових елементів кріплення.

2. Мінімізація трудомісткості виготовлення електричних з'єднань

Модель вибору має вигляд

$$K_2 = \min \sum_{i=1}^n T_i \quad (2)$$

при обмеженнях $a \in a_{\text{доп}}$, $r \in r_{\text{доп}}$, $h \in h_{\text{доп}}$, де T_i – трудомісткість i -го типу електричних з'єднань.

Ця модель є спрощеною модифікацією попередньої моделі у зв'язку з тим, що трудомісткість є частиною всіх затрат, тобто повної вартості. В деяких випадках зручніше користуватись саме цим показником.

3. Максимізація показників якості

Модель вибору оптимальної структури (варіанта конструкції) електричних з'єднань ЕЗ за показниками якості має вигляд

$$K_3 = \max \sum_{j=1}^b K_j \quad (3)$$

при обмеженнях $a \in a_{\text{доп}}$, $r \in r_{\text{доп}}$, $h \in h_{\text{доп}}$, де b – кількість часткових показників якості K_j електричних з'єднань.

Як часткові можуть бути використані такі показники якості [12]:

– коефіцієнт об'єму конструкції електричних з'єднань

$$K_V = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n V_i l_i + \sum_{i=1}^n V_{ki} n_{ki}}{V}, \quad (4)$$

де V_i – об'єм одиниці довжини i -го з'єднання; V_{ki} – об'єм контакту i -го з'єднання; V – об'єм всього виробу; l_i – довжина i -го з'єднання; n_{ki} – число контактів i -го з'єднання; n – число з'єднань у виробі;

– показник питомого об'єму конструкції електричних з'єднань

$$V_{\text{пит}} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i l_i + \sum_{i=1}^n V_{ki} n_{ki}}{n}; \quad (5)$$

– коефіцієнт маси конструкції електричних з'єднань

$$K_m = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n m_i l_i + \sum_{i=1}^n m_{ki} n_{ki}}{M}, \quad (6)$$

де m_i – маса одиниці довжини i -го з'єднання; m_{ki} – маса контакту i -го з'єднання; M – маса всього виробу;

– показник питомої маси конструкції електричних з'єднань

$$m_{\text{пит}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i l_i + \sum_{i=1}^n m_{ki} n_{ki}}{n}; \quad (7)$$

– показник питомого напруцювання на відмову конструкції електричних з'єднань

$$t_{\text{пит}} = \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i + \sum_{j=1}^d \lambda_j \right) \cdot n}, \quad (8)$$

де λ_i – інтенсивність відмови i -го з'єднання; λ_j – інтенсивність відмови j -го контакту; d – кількість контактів у виробі;

– показник приведенного часу затримки передачі (обробки) інформації при використанні заданої конструкції електричних з'єднань

$$\tau_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n \tau_i / \sum_{i=1}^n l_i, \quad (9)$$

де τ_i – затримка сигналу в i -му з'єднанні тракту передачі (обробки) інформації;

– коефіцієнт автоматизації виконання електромонтажу

$$K_a = n_a / n, \quad (10)$$

де n_a – кількість з'єднань, що виконуються автоматизованими методами.

Для рішення задачі вибору оптимального варіанту конструкції електричних з'єднань використаємо теорію пасивних ігор [13]. Ця теорія добре підходить для вирішення такого класу задач з неповною початковою інформацією.

Складемо ігрову матрицю (табл. 1). Рядки матриці відповідають варіантам конструкції електричних з'єднань Y_i , а стовпці – їх частковим показникам якості K_j . В комірки ігрової матриці заносяться розраховані значення часткових показників якості Π_{ij} за різними варіантами конструкції Y_i .

Серед часткових показників якості є такі, що максимізуються, і такі, що мінімізуються. Для наведених вище показників максимізуються K_v , K_m , $t_{\text{пит}}$, K_a і мінімізуються $V_{\text{пит}}$, $m_{\text{пит}}$, $\tau_{\text{пр}}$. Для об'єднання (згортки) всіх часткових показників в інтегральний, наприклад, у вигляді суми, потрібно табл. 1 фактично розділити на дві: одна – з матрицею значень показників якості, що максимізуються $[\Pi \max_{ij}]$, друга – з матрицею значень показників якості, що мінімізуються $[\Pi \min_{ij}]$. В свою чергу, для обох таблиць кількість варіантів конструкції однакова, тобто i лежить у межах від 1 до u , а кількість часткових показників якості в загальному випадку може бути різною: для максимізуємих j лежить у межах від 1 до c , для мінімізуємих – від 1 до e , при цьому $c + e = b$.

Таблиця 1

Варіант конструкції	K_1	K_2	...	K_j	...	K_b
Y_1	Π_{11}	Π_{12}	...	Π_{1j}	...	Π_{1b}
.
.
Y_i	Π_{i1}	Π_{i2}	...	Π_{ij}	...	Π_{ib}
.
.
Y_u	Π_{u1}	Π_{u2}	...	Π_{uj}	...	Π_{ub}

Часткові показники якості, що використовуються, є різними за фізичною природою і можуть бути розмірними та такими, що не мають розмірності. При цьому значення кожного j -го показника можуть суттєво відрізнятися між собою за величиною. У зв'язку з цим потрібно виконати нормування значень показників якості, використовуючи таке співвідношення:

$$\Pi_{ijn} = \Pi_{ij} / \max \Pi_j, \quad (11)$$

де Π_{ij} – значення показників якості в кожній із двох матриць; $\max \Pi_j$ – максимальне значення j -го показника якості, тобто максимальне значення в кожному стовпці.

У результаті отримуємо дві пронормовані матриці $[\Pi \max_{ijn}]$ та $[\Pi \min_{ijn}]$.

Часткові показники якості, як такі, що максимізуються, так і такі, що мінімізуються, по-різному впливають на інтегральний показник якості, за яким визначається оптимальний варіант конструкції електричних з'єднань. Ступінь впливу можливо врахувати за допомогою коефіцієнтів вагомості, які можна визначити, наприклад, експертним шляхом. З цією метою елементи обох матриць (значення часткових показників) помножуються на коефіцієнти вагомості. В результаті отримуємо пронормовані зважені матриці $[\Pi \max_{ijn}^*]$ та $[\Pi \min_{ijn}^*]$.

Наступним кроком є згортка значень показників якості для кожного варіанта конструкції електричних з'єднань в межах кожної з двох матриць – за максимізуємих та мінімізуємих показниками:

$$K_{3\max i} = \sum_{j=1}^c \Pi \max_{ijn}^*; K_{3\min i} = \sum_{j=1}^e \Pi \min_{ijn}^*. \quad (12)$$

Для визначення оптимального варіанту конструкції електричних з'єднань виконуємо згортку загальних значень максимізуємих та мінімізуємих показників якості для кожного варіанта у вигляді частки

$$K_{3i} = \sum_{j=1}^c \Pi \max_{ijn}^* / \sum_{j=1}^e \Pi \min_{ijn}^*. \quad (13)$$

Оптимальним буде той варіант, який дає максимальне відношення $K_{3i} \rightarrow \max$.

4. Максимізація показників ефективності

У ряді випадків доцільно використовувати не просто показники якості, а показники ефективності – відношення показників якості до вартості варіанту конструкції електричного з'єднання. Це дає змогу оцінювати не тільки технічні характеристики,

а й економічні, тобто враховувати загалом співвідношення «якість/вартість».

Модель вибору оптимального варіанту конструкції електричних з'єднань ЕЗ за показниками ефективності має вигляд

$$K_4 = \max \sum_{j=1}^b E_j \quad (14)$$

при тих же обмеженнях $a \subset a_{\text{доп}}, r \subset r_{\text{доп}}, h \subset h_{\text{доп}}$, де E_j – часткові показники ефективності.

Для рішення задачі оптимізації представляємо всі часткові показники якості у вигляді показників ефективності (виграшів), які завжди максимізуються, за допомогою співвідношень:

– для максимізуємих часткових показників

$$E_j = \frac{K_j}{C_i},$$

де C_i – вартість i -го варіанту конструкції електричних з'єднань;

– для мінімізуємих часткових показників

$$E_j = \frac{1}{K_j \cdot C_i}.$$

Для розрахунку елементів матриці ефективності (виграшів) слід використовувати такі співвідношення, що витікають із попередніх:

$$E_{ij} = \frac{\Pi \max_{ij}}{C_i} \text{ та } E_{ij} = \frac{1}{\Pi \min_{ij} \cdot C_i} \quad (15)$$

Розрахувавши таким чином показники ефективності, побудуємо матрицю виграшів (табл. 2), в якій всі показники максимізуються.

Таблиця 2

Варіант конструкції	K_1	K_2	...	K_j	...	K_b
Y_1	E_{11}	E_{12}	...	E_{1j}	...	E_{1b}
·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·
Y_i	E_{i1}	E_{i2}	...	E_{ij}	...	E_{ib}
·	·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·	·
Y_u	E_{u1}	E_{u2}	...	E_{uj}	...	E_{ub}

Як і у випадку використання попередньої моделі, для визначення оптимального варіанту конструкції електричних з'єднань слід виконати такі операції:

– нормування значень показників ефективності за таким співвідношенням:

$$E_{ijn} = E_{ij} / \max E_j, \quad (16)$$

де E_{ijn} – нормоване значення показника ефективності ($E_{ijn} \leq 1$); $\max E_j$ – максимальне значення показника ефективності по кожному частковому показнику якості (в кожному стовпці матриці);

– уведення коефіцієнтів вагомості та отримання пронормованої зваженої матриці $[E_{ijn}^*]$;

– згортка часткових показників ефективності в інтегральний у вигляді суми для кожного з варіантів конструкції електричних з'єднань:

$$K_{4i} = \sum_{j=1}^b E_{ijn}^*; \quad (17)$$

– визначення оптимального варіанту конструкції як

$$K_{4i} \rightarrow \max.$$

АЛГОРИТМИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ

У відповідності до представлених моделей розроблено алгоритми (рис. 2, 3), які дозволяють в різних умовах проводити вибір конструкцій електричних з'єднань.

Враховуючи наявність однакових початкових даних, баз даних та операцій, що виконуються, алгоритми побудовані таким чином, що чотири моделі вибору реалізовані двома алгоритмами.

1. Алгоритм вибору за критеріями трудомісткості та вартості

Алгоритм представлений на рис. 2, при цьому визначається мінімальна трудомісткість чи вартість конструкції електричних з'єднань. Вибір конструкції відбувається на основі порівняння трудомісткості виготовлення їх варіантів, якщо цього достатньо (алгоритм використовується частково), або порівняння повної вартості варіантів (алгоритм використовується повністю).

Блок 1. Процес вибору варіанту електромотажу передбачає наявність цих варіантів. Тому насамперед потрібно в ескізованому вигляді розробити ці варіанти. Для цього необхідні початкові дані (**блок 2**) – як мінімум, схема електрична принципова (ЕЗ), несуча конструкція (НК), яка буде використана для виробу, що розробляється, та компонувальний ескіз. Звичайно, на момент розробки виробу відомі набори можливих варіантів конструкції електричних з'єднань, а також частина їх, що рекомендуються для переважного використання з урахуванням вимог до виробу, умов його експлуатації, а також рівня розвитку технологій електромотажу (**блок 3**). Аналіз цих даних дозволяє визначити обмеження до математичної

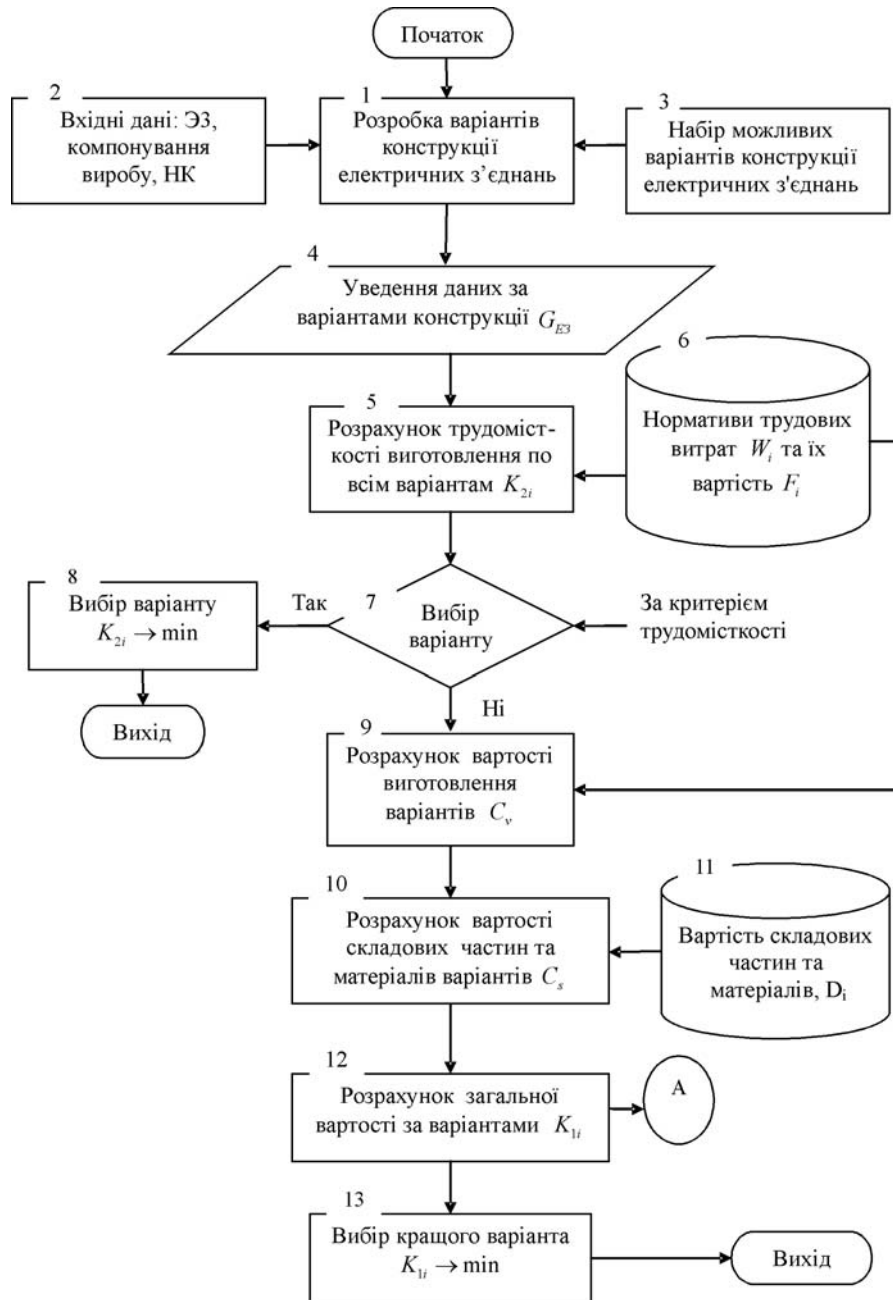


Рис. 2. Алгоритм вибору варіанта конструкції електричних з'єднань за критеріями трудомісткості та вартості

моделі вибору оптимального варіанту конструкції електричних з'єднань ЕЗ, що розробляється.

Блок 4. Для кожного із розроблених варіантів електромонтажу вводяться кількісні дані:

- типи проводів та кабелів;
- довжина проводів та кабелів за типом;
- інші матеріали;
- кількість роз'ємів;
- кількість підготовчих операцій (нарізка, лудіння, зачищення та ін.);
- кількість операцій монтажу;

- типи елементів кріплення та їх кількість;
- інші дані.

Блок 5. Для всіх прийнятих до розгляду варіантів конструкції електричних з'єднань проводиться розрахунок трудомісткості виконання електромонтажу з урахуванням всіх технологічних операцій, у тому числі підготовчих. Для цього крім даних, що надходять з блоку 4, використовуються нормативи трудових витрат, що знаходяться в базі даних (**блок 6**).

Блок 7. Визначається напрямок подальших розрахунків. Якщо зазначено вибір електромонтажу за кри-

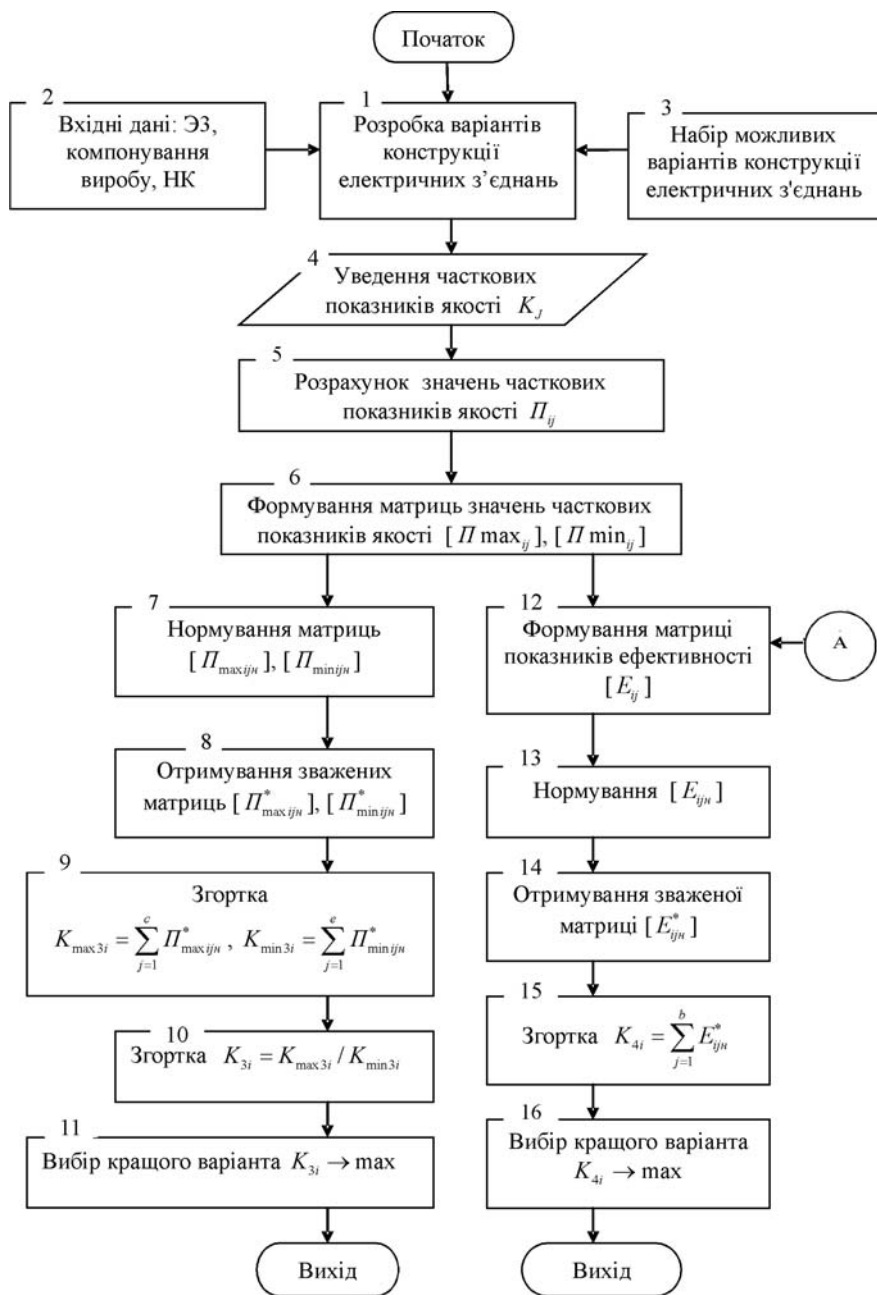


Рис. 3. Алгоритм вибору варіанта конструкції електричних з'єднань за показниками якості та ефективності

терієм трудомісткості, то визначається варіант з мінімальним значенням трудомісткості (блок 8). Якщо потрібно врахувати повну вартість електромонтажу, то виконується перехід до блока 9.

Блок 9. Виконується розрахунок вартості трудових операцій виготовлення електромонтажу за прийнятими варіантами. Для цього використовуються отримані в блоці 5 значення трудомісткості, а також трудові нормативи в грошовому виразі (блок 6).

Блок 10. Виконується розрахунок вартості складових частин та матеріалів, що необхідні для створен-

ня конструкцій електричних з'єднань. Для цього крім даних, отриманих в блоці 4, використовується база даних, що включає нормативну вартість цих складових частин та матеріалів (блок 11).

Блок 12. Виконується розрахунок загальної вартості варіантів конструкції електричних з'єднань. В подальшому отримані значення використовуються для вибору кращого варіанта електромонтажу (блок 13), а також для розрахунку показників ефективності в наступному алгоритмі (зв'язок А).

2. Алгоритм вибору за показниками якості та ефективності

Алгоритм представлений на рис. 3. Вибір конструкції відбувається на основі порівняння показників якості чи ефективності варіантів конструкції електричних з'єднань. Кращий варіант визначається за максимальними значеннями цих показників.

Блоки 1, 2, 3. Ці блоки такі ж, як і в попередньому алгоритмі.

Блок 4. Уводяться часткові показники якості, що будуть використовуватись для оцінки, та залежності для їх розрахунку. Набір можливих для використання показників якості наведений вище $\{(4)-(10)\}$.

Блок 5. Розраховуються значення часткових показників якості за всіма прийнятими до розгляду варіантами конструкції електричних з'єднань.

Блок 6. Формуються дві таблиці з матрицями значень часткових показників якості:

– $[P \max_{ij}]$ – з показниками, що максимізуються $K_v, K_m, t_{\text{пит}}, K_a$;

– $[P \min_{ij}]$ – з показниками, що мінімізуються $V_{\text{пит}}, m_{\text{пит}}, \tau_{\text{пр}}$.

Надалі алгоритм роз'єднується на два напрямки – перший (блоки 7–11) дає змогу вибрати варіант конструкції за показниками якості, другий (блоки 12–16) – за показниками ефективності.

Блок 7. Виконується нормування значень показників якості, використовуючи співвідношення (11). У результаті отримуємо дві пронормовані матриці: $[P \max_{ijn}]$ та $[P \min_{ijn}]$.

Блок 8. Елементи обох матриць помножуються на коефіцієнти вагомості. В результаті отримуємо пронормовані зважені матриці $[P \max_{ijn}^*]$ та $[P \min_{ijn}^*]$.

Блок 9. З використанням співвідношень (12) виконується згортка значень показників якості для кожного варіанта конструкції електричних з'єднань в межах кожної з двох матриць – за показниками, що максимізуються та мінімізуються.

Блок 10. Виконується згортка загальних значень максимізуємих та мінімізуємих показників якості для кожного варіанта за співвідношенням (13) для визначення оптимального варіанта конструкції (**блок 11**).

Блок 12. Для розрахунку елементів і формування матриці показників ефективності (виграшів) використовуються співвідношення (15).

Блок 13. Нормування значень показників ефективності виконується за співвідношенням (16).

Блок 14. Для отримання пронормованої зваженої матриці $[E_{ijn}^*]$ уводяться коефіцієнти вагомості.

Блок 15. Виконується згортка часткових показників ефективності в інтегральний у вигляді суми

(17) для кожного з варіантів конструкції електричних з'єднань для вибору оптимального варіанта конструкції (**блок 16**).

Розроблені моделі і алгоритми призначені для практичної реалізації вибору структур (варіантів конструкції) електричних з'єднань та їх оптимізації. Вони можуть використовуватися на різних стадіях проектування, в тому числі і на ранніх, для різних умов розробки і виробництва ЕЗ. Займатися питаннями створення оптимальних конструкцій електричних з'єднань доцільно в тісному поєднанні з вибором оптимальних базових несучих конструкцій [14].

Подальші дослідження та розробки слід розвивати в напрямку створення програмного продукту і баз даних, інших моделей оптимізації та визначення конструктивно-технологічних параметрів різних видів і методів електричних з'єднань.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ермолович, А. Оптоэлектрические печатные платы / А. Ермолович // Электронные компоненты и системы. – 2001. – № 12. – С. 3–4.
2. Фишер, Д. Реализация оптоэлектронных оснований для печатных плат / Д. Фишер // Печатный монтаж. – 2007. – № 6. – С. 30–32.
3. Беломятцев, В. Электромонтаж без отвертки / В. Беломятцев // Современные технологии автоматизации. – 2005. – № 4. – С. 68–71.
4. Комков, А. Кристалл – корпус – печатная плата. Проектирование соединений / А. Комков, Г. Хренов // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2005. – № 7. – С. 84–86.
5. Назаров, Е. Внутренний монтаж функциональных радиоэлектронных блоков / Е. Назаров // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2008. – № 3. – С. 36–39.
6. Лутченков, Л. С. Аналитический метод определения метрических параметров проводного монтажа / Л. С. Лутченков // Техника средств связи. Сер. Техника проводной связи. – 1986. – Вып. 4. – С. 22–28.
7. Лутченков, Л. С. Расчет конструктивных параметров электро монтажа аппаратуры связи / Л. С. Лутченков // Электросвязь. – 1988. – № 11. – С. 53–55.
8. Ширяев, Ю. Н. О выборе вида электро монтажа аппаратуры многоканальной связи [Текст] / Ю. Н. Ширяев, А. Э. Бартули // Техника средств связи. Сер. Техника проводной связи. – 1988. – Вып. 2. – С. 45–48.
9. Ефименко, А. А. Формализация задачи выбора способа электрического монтажа по критерию стоимости / А. А. Ефименко, Г. К. Яхонтов // Техника средств связи. Сер. Техника проводной связи. – 1988. – Вып. 5. – С. 102–106.
10. Ефименко, А. А. Выбор оптимального вида межблочного электро монтажа аппаратуры передачи и обработки информации / А. А. Ефименко, А. Н. Бузин // Средства связи. – 1990. – Вып. 2. – С. 61–65.
11. Ефименко, А. А. Формализация задач проектирования межблочных электрических соединений ЭС / А. А. Ефименко, И. Н. Маринов, А. М. Козаревич // Тр. 11-й Междунар. науч.-практич. конф. «СИЭТ-2010». Т. II. – Одесса, 2010. – С. 68.
12. Ефименко, А. А. Система показателей качества конструкций межблочных электрических соединений / А. А. Ефименко, А. В. Голов // Технология и проектирование в электронной аппаратуре. – 1998. – № 3–4. – С. 16–18.

13. Фролов, В. А. Анализ и оптимизация в прикладных задачах конструирования РЭС: учеб. пособие / В. А. Фролов. – К.: Вища шк., 1991. – 310 с.
14. Ефименко, А. А. Оптимальный выбор стандартных несущих конструкций для электронных средств / А. А. Ефименко, А. И. Вильчинский // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2010. – № 2. – С. 22–27.

Надійшла 04.11.2010

Ефименко А. А.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕЖБЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Предложены модели и алгоритмы выбора конструкций электрических соединений по критериям стоимости и трудоемкости, показателям качества и эффективности, кото-

рые позволяют оптимизировать процесс разработки электронных средств.

Ключевые слова: электрические соединения, межблочные соединения, оптимизация стоимости, электронные устройства.

Efimenko A. A.

CHOICE OF OPTIMAL INTERBLOCK ELECTRIC CONNECTIONS DESIGN FOR ELECTRONIC MEANS

Models and algorithms are proposed for choosing a design of electric contacts by the criteria of cost and labor expenditures as well as quality and efficiency indices, which permit to optimize the electronic means engineering process.

Key words: electric connections, intercontact connections, cost optimization, electronic devices.

УДК 621.314.63

Остренко В. С.

Канд. техн. наук, доцент Запорізької державної інженерної академії

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПОНЕНТ, ЩО АПРОКСИМУЮТЬ ПЕРЕХІДНИЙ ТЕПЛОВИЙ ОПІР ОХОЛОДЖУВАЧА

Запропоновано алгоритм визначення параметрів експонент, що апроксимують графік залежності перехідного теплового опору охолоджувача в часі. Це дає можливість включити охолоджувач у систему розрахунку температури напівпровідникової структури силових напівпровідникових приладів.

Ключові слова: напівпровідниковий прилад, охолоджувач, температура напівпровідникової структури, тепловий опір, параметри експонент, режими охолодження.

Надійність роботи силових напівпровідникових приладів в значній мірі залежить від температури їх напівпровідникової структури. Тому процесам нагріву та охолодження таких приладів завжди приділяється належна увага. Особливо це стосується нестационарних режимів навантаження приладів. Температура структури залежить від втрати потужності в приладі та від теплового опору системи «прилад – охолоджувач». Перехідний тепловий опір системи «прилад – охолоджувач» на момент часу t можна визначити за формулою

$$Z_{thja}(t) = Z_{thjc}(t) + R_{thcn} + Z_{thn}(t), \quad (1)$$

де $Z_{thjc}(t)$ – перехідний тепловий опір «структура – корпус приладу»; R_{thcn} – тепловий опір «корпус приладу – контактна поверхня охолоджувача»; $Z_{thn}(t)$ – перехідний тепловий опір охолоджувача.

Характеристики $Z_{thjc}(t)$ та параметри R_{thcn} надаються більшістю великих виробників напівпровідникових приладів в інформаційних матеріалах, причому характеристики $Z_{thjc}(t)$ надаються як у графічно-

му, так і в аналітичному вигляді. В цей же час, характеристики охолоджувачів $Z_{thn}(t)$ надаються виробниками охолоджувачів у інформаційних матеріалах тільки у графічній формі [1]. Відсутність аналітичної форми представлення перехідного теплового опору охолоджувача значно ускладнює виконання розрахунків теплових режимів роботи напівпровідникових приладів. Тому розробка алгоритму визначення параметрів експонент, що апроксимують графік залежності перехідного теплового опору охолоджувача в часі, є актуальною.

Рекомендується такий алгоритм визначення параметрів експонент, що апроксимують графік залежності перехідного теплового опору охолоджувача та/або силового напівпровідникового приладу.

1. ВИЗНАЧЕННЯ ПОЧАТКОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКУ

Залежність теплового опору в часі у напівлогарифмічному масштабі показана на рис. 1.