

Практичне заняття 2 .

Математична модель електронної апаратури

1. Ієрархічні рівні елементів системи

В більшості випадків система управління не може бути виготовлена в вигляді одного неподільного конструктивного модуля в зв'язку з виникаючими незручностями при транспортуванні, обслуговуванні та ремонті. Крім того, розподіл системи на окремі частини дозволяє виготовляти їх незалежно одну від одної, що спрощує та прискорює технологічний процес.

Найбільш часто застосовують розподіл пристроїв по рівням. На нижньому — нульовому — рівні знаходяться окремі дискретні елементи: транзистори, мікросхеми, резистори тощо.

З елементів нульового рівня збирають елементи першого рівня, які називаються технічними елементами заміни — ТЕЗами. ТЕЗ являє собою друковану плату, виготовлення та налагодження якої здійснюється автономно. Дуже часто ТЕЗ являє собою функціонально закінчену частину і виконує певні функції (підсилювач, перетворювач, запам'ятовуючий пристрій тощо). Номенклатура ТЕЗів повинна бути мінімальною, що досягається раціональним розподілом функціональної схеми на окремі частини.

З ТЕЗів збирають елементи другого рівня, які являють собою конструктивні блоки (моноблоки), що складаються з деякої кількості ТЕЗів.

З блоків збирають субблоки, які об'єднуються в панелі, стійки та шафи.

Конструктивне виконання цих елементів наведено в [3,].

При такому підході до 86% всіх з'єднань припадає на ТЕЗи. Ці з'єднання виконуються друкованими провідниками єдиним технологічним процесом, що значною мірою зменшує трудоемність монтажних робіт.

Блоки можуть мати ТЕЗи одного розміру (принцип комірок). В цьому випадку на різних платах може бути різна кількість елементів.

Можливі конструкції, в яких ТЕЗ має один змінний розмір (ширину або довжину), який залежить від кількості елементів на ньому (модульний принцип).

2. Складання та спощення математичної моделі ЕОА

Для вирішення задач компоновки та розміщення елементів на монтажній площині, а також для трасировки з'єднань за допомогою ЕОМ, необхідно мати математичну модель пристроїв. Найбільш доцільно використати для цього теорію графів. В цьому випадку кожний елемент пристрою зображається вершиною графа, в той час як електричні ланцюги зображуються дугами графа (ребрами графа). В залежності від поставленої задачі, можна використовувати різні типи графів. Для задач компоновки, розміщення та проведення трас з'єднань достатньо застосовувати неорієнтований виважений граф, в якому кожне ребро має вагу, яка чисельно дорівнює кількості ланцюгів, що з'єднують два елемента. Інші типи графів наведені в [1].

Очевидно, що при формуванні ТЕЗів, кожна вершина графа є дискретний елемент нульового рівня. При формуванні блоків кожна вершина графа є ТЕЗ. Зрозуміло, що найбільш складною є задача визначення кількості ТЕЗів, тому що кількість нульових елементів в схемі може бути досить великою.

Для складання графа по електричній принциповій схемі необхідно пронумерувати (в довільному порядку) всі елементи, а також всі ланцюги (всі елементи ланцюга знаходяться під однаковим потенціалом). Потім елементи замінюються вершинами графа, а ланцюги — ребрами, на яких необхідно проставити вагу ребра (кількість ланцюгів, що з'єднують два елемента).

Нехай маємо схему, наведену на рис. 1. Типи елементів не вказані, тому що це не має ніякого значення.

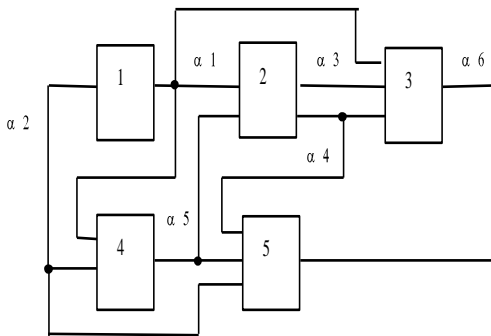


Рис. 1

Побудова графа по принциповій електричній схемі утруднена, особливо при великій кількості елементів. В той же час граф не може бути початковою інформацією при вирішенні задач на ЕОМ.

Граф цієї схеми наведений на рис. 2.

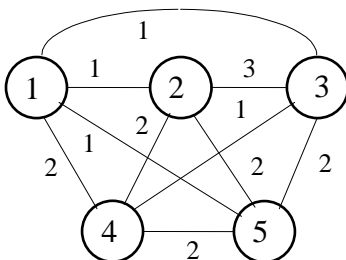


Рис. 2

Математичною моделлю графа (а відповідно і електричної схеми) є матриця суміжності, рядки та стовпці якої відповідають елементам схеми. Елементом матриці a_{ij} є кількість ланцюгів, які зв'язують два елемента схеми. Матриця суміжності симетрична відносно головної діагоналі (відповідні рядки дорівнюють стовпцям), тому в ЕОМ можна вводити тільки половину її елементів.

Матриця суміжності для графа, наведеного на рис. 2, представлена таблицею 1.

Таблиця 1

	1	2	3	4	5
1	0	1	1	2	1
2	1	0	3	2	2
3	1	3	0	1	2
4	2	2	1	0	2
5	1	2	2	2	0

Елементи, зв'язані одним ланцюгом, утворюють підграф або кліку, тобто частину графа, всі елементи якого пов'язані між собою. Кількість ребер такого підграфа дорівнює:

$$P = \frac{N \cdot (N - 1)}{2} \quad (1)$$

де N — кількість вершин підграфа.

В той же час для електричного з'єднання N елементів достатньо мати $(N - 1)$ ребер. Такий підграф є деревом, тобто граф, у якого відсутні контури. Об'єднання деревів ланцюгів утворює дерево схеми, кількість ребер якого буде мінімальною. Матриця суміжності такого графа буде мати мінімальну кількість ненульових елементів, що зменшує час на її обробку. Такі матриці називаються розрідженими. Вирішення конструкторських задач по таким матрицям дає більш точні результати, тому що додаткові (і зайві) зв'язки впливають на остаточні результати.

Для побудови матриці суміжності можна використовувати матрицю інциденцій. В цій матриці рядки відповідають елементам схеми, а стовпці — електричним ланцюгам. Елементом матриці може бути одиниця, якщо елемент зв'язаний даним ланцюгом, або нуль — в протилежному випадку. Для схеми, зображеної на рис. 1, матриця інциденцій має вигляд таблиці 2.

Внутрішні з'єднання елементів і шини живлення не враховуються, тому що вони не впливають на результати рішення задачі.

По цій матриці можна побудувати матрицю суміжності.

Таблиця 2

	1	2	3	4	5	6
1	1	1				
2	1		1	1	1	
3	1		1	1		1
4	1	1			1	
5		1	1	1	1	1

Для побудови розрідженої матриці суміжності необхідно для кожного ланцюга вибрати $(N - 1)$ з'єднання таким чином, щоб вага ребер була максимальною.

Для побудови такої матриці можна застосувати алгоритм, наведений в [1] :

1. Складемо список ланцюгів з переліком елементів, які охоплені ним. Для схеми по рис. 1 цей список буде наступним:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 1, 2, 3, 4; & \alpha_2 &= 1, 4, 5; & \alpha_3 &= 2, 3; \\ \alpha_4 &= 2, 3, 5; & \alpha_5 &= 2, 4; & \alpha_6 &= 3, 5. \end{aligned}$$

2. Розташуємо ці ланцюги в порядку зростання кількості елементів в них:

α_3 ; α_6 ; α_2 ; α_4 ; α_5 ; α_1

3. Ланцюги, які охоплюють тільки два елемента, спростити неможливо. Значення елемента (вага елемента) дорівнює кількості ланцюгів, в яких є дана пара. Так, пара елементів 2 та 3 входить в ланцюги α_3 , α_4 та α_1 . Тому $Z(2, 3) = 3$. Пара 3 та 5 входить в ланцюги α_4 та α_6 . Тому $Z(3, 5) = 2$.

4. Розглянемо ланцюг α_2 , який об'єднує елементи 1, 4 та 5 (рис. 3)

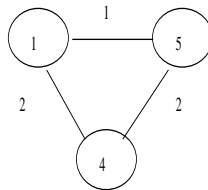


Рис. 3

Елементи цього ланцюга зв'язані трьома ребрами, але для електричного з'єднання достатньо двох. Виберемо ті ребра, які мають найбільшу вагу. Це ребра $Z(1,4) = 2$ та $Z(4,5) = 2$.

Розглянемо ланцюг α_4 (рис.4)

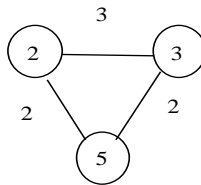


Рис. 4

Ребро $Z(2, 3)$ має найбільшу вагу, тому вибираємо його. Ребро $Z(3, 5)$ вже входить в матрицю з ланцюгів α_3 та α_6 , тому вибираємо і це ребро.

Розглянемо ланцюг α_5 (рис. 5). Ребро 4,5 вже входить в матрицю, але решта ребер рівнозначні по вазі. Тому пропустимо їх і перейдемо до розгляду ланцюга α_1 (рис 6).

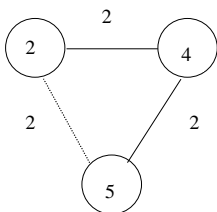


Рис. 5

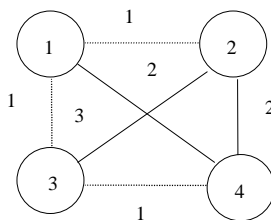


Рис. 6

Ребра 2,3, та 1,4 вже входять в матрицю. З решти ребер візьмемо ребро 2,4, яке має найбільшу вагу. Воно же буде з'язком для попереднього ланцюга. Розріджена матриця представлена таблицею 3.

Таблиця 3

	1	2	3	4	5
1	0			2	
2		0	3	2	
3		3	0		2
4	2	2		0	2
5			2	2	0

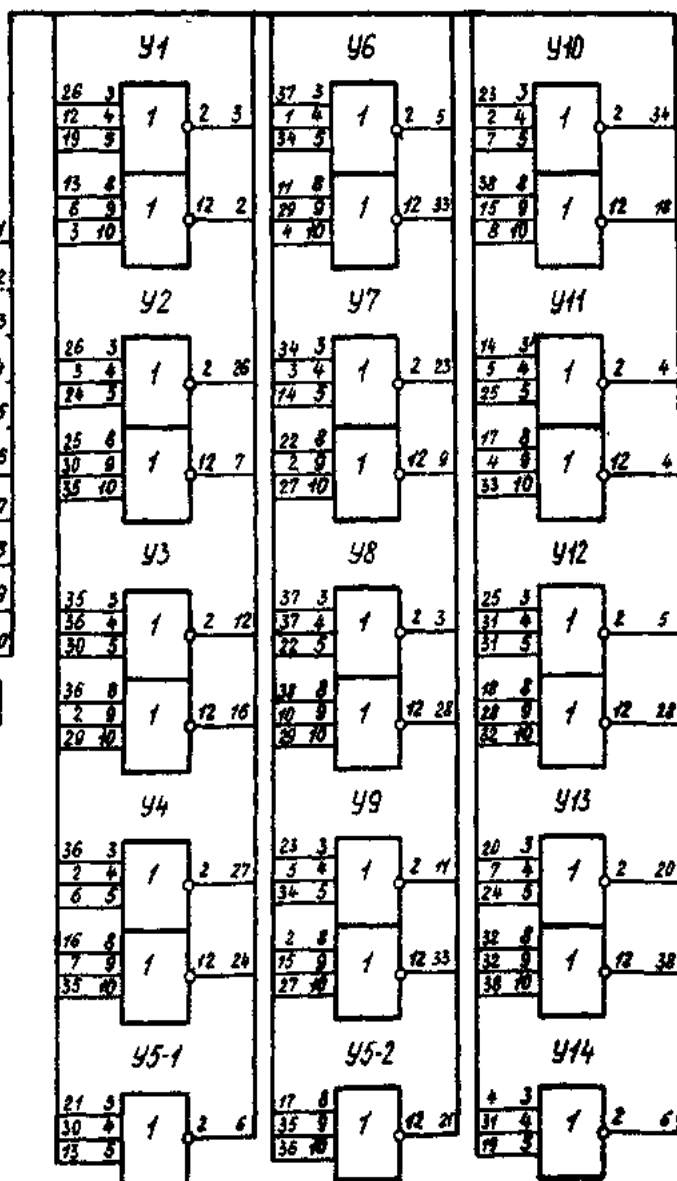
Кількість елементів матриці суміжності скоротилося з 20 до 10 при зовсім простій схемі.

При великій кількості елементів побудова розрідженої матриці суміжності вимагає великого часу.

Для зменшення розмірності матриць можна об'єднувати ті елементи, які по тим чи іншим причинам повинні бути розташовані поряд.

D35

Цель	Конт.	
Контроль	4	1
Контроль	5	2
Контроль	6	3
Контроль	7	4
Контроль	8	5
Контроль	9	6
Контроль	10	7
Контроль	11	8
Контроль	12	9
Контроль	13	10
Общий	3	



Практичне заняття № 3. Компонівка апаратури

1. Задачі компоновки

Задача компоновки зводиться до того, щоб розбити електричну принципову схему на ТЕЗи, а з них утворити блоки, субблоки тощо. Найбільш зручним критерієм такого розподілу є мінімум кількості з'єднань між окремими частинами схеми. Зручність такого критерію полягає в тому, що всі з'єднання між окремими частинами здійснюються за допомогою розйомів або паяних з'єднань, які є найменш надійним елементом схеми. Тому мінімізація кількості з'єднань між конструктивними елементами збільшує надійність конструкції.

Точне рішення можна отримати методом перебору всіх можливих варіантів, що потребує значного машинного часу і для більшості сучасних схем рішення неможливо отримати навіть на найсучасніших ЕОМ. Тому на практиці застосовують ряд наближених алгоритмів, які при невеликих витратах часу дозволяють отримати рішення, які задовольняють вимогам практики.

Початковими даними є матриця суміжності, кількість ТЕЗів, кількість допустимих зв'язків та припустима кількість елементів на кожному ТЕЗі.

2. Попередня компоновка

На початковому етапі конструювання може бути невідомо, на яку кількість ТЕЗів можна розбити електричну принципову схему і яка кількість елементів повина входити в кожний ТЕЗ. Цю задачу можна вирішити побудовою характеристичної кривої [1], яка являє собою впорядковану множину елементів, для кожної точки якої відома кількість зовнішніх зв'язків. Побудова характеристичної кривої проводиться в наступній послідовності:

1. Підрахуємо кількість елементів кожного рядку матриці суміжності — γ_i .
2. Підрахуємо суму елементів кожного рядку матриці суміжності — $\rho(x)$. Ця величина визначає кількість зв'язків кожного елемента схеми з іншими елементами і називається локальною ступенню вершини.

3. За початкову вершину візьмемо той рядок матриці суміжності, в якому $\rho(x)$ найменша. Якщо таких рядків декілька, то беремо той з них, для якого найменше γ_i . Якщо й таких елементів декілька, то

вибір з них довільний. Винесемо цю вершину в окремий блок **B**. Тоді кількість зв'язків цього блоку з рештою елементів дорівнює $\rho(x)$.

4. Виберемо елементи, які інцидентні вибраній раніше вершині, виключаючи ті з них, які вже ввійшли в новий блок (на першому етапі таких вершин ще не буде). Ці елементи є претендентами на входження в блок **B**.

5. Підрахуємо для претендентів прирощення зв'язків за формулою:

$$\sigma_i = \rho(x) - 2 \sum a_{ij}, \quad (2)$$

де a_{ij} — кількість зв'язків вершини x_i з усіма елементами блоку **B**.

6. З цих вершин вибираємо ту, для якої δ_i буде найменшою (можливо вона буде від'ємним числом). Кількість зв'язків блоку **B** збільшується на цю величину.

7. Переходимо до п. 4. Алгоритм повторюється циклічно і закінчується, коли в блок **B** перейдуть всі вершини.

8. По отриманим даним будуюмо графік характеристичної кривої

Нехай маємо схему, матриця суміжності якої представлена таблицею 4.

Таблиця 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	$\rho(x)$	γ_i
1	0			1		3		1					1	1	7	4
2		0	2				1				1		1		5	4
3		2	0				1					2	1		6	4
4	1			0	2				1	1	2				7	5
5				2	0				3	1					6	3
6	3					0		2			2			1	8	4
7		1	1				0					1	1	1	5	5
8	1					2		0						2	5	3
9				1	3				0	1	1				6	4
10				1	1				1	0	2	1			6	5
11		1		2		2			1	2	0				8	5
12			2				1			1		0	2		6	4
13	1	1	1				1					2	0		6	5
14	1					1	1	2						0	5	4

Виберемо початкову вершину з мінімальною $\rho(x)$. Такими вершинами можуть бути вершини 2, 7, 8 та 14. Найменшу кількість елементів має рядок 8, тому за початкову вершину приймемо елемент 8, кількість зв'язків якого дорівнює 5.

Випишемо вершини, інцидентні вибраній, виключаючи вершину 8. Це будуть вершини 1, 6 та 14. Підрахуємо для них приращення зв'язків.

$$\sigma_1 = 7 - 2 \cdot 1 = 5, \quad \sigma_6 = 8 - 2 \cdot 2 = 4, \quad \sigma_{14} = 5 - 2 \cdot 2 = 1.$$

Наступний елемент, який ввійде в новий блок є елемент 14. Кількість зв'язків збільшилася на 1 і дорівнює 6.

Випишемо вершини, інцидентні 14-й. Це вершини 1, 6 та 7. Підрахуємо для них приращення зв'язків.

$$\sigma_1 = 7 - 2(1 + 1) = 3, \quad \sigma_6 = 8 - 2(2 + 1) = 2, \quad \sigma_7 = 5 - 2 \cdot 1 = 3$$

Наступною вершиною, яку вводимо в блок, буде вершина 6.

Подальші розрахунки приводять до характеристичної кривої, яка зображена на рис. 7.

Як видно з рис. 7, характеристична крива має дві точки мінімуму, що говорить про можливість розподілу схеми на три блоки. Блок 1 буде мати елементи 8, 14, 6, 1; блок 2 – елементи 13, 7, 12, 3, 2; блок 3 – елементи 11, 10, 4, 5, 9.

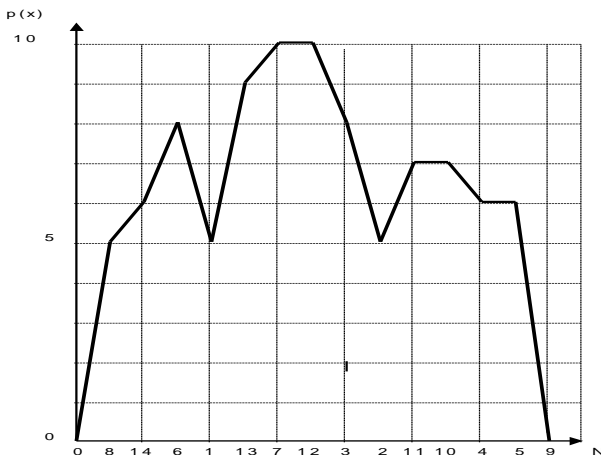


Рис. 7

На характеристичній кривій знайдемо точки мінімуму, які є точками розподілу схеми на блоки.

Можуть бути випадки, коли характеристична крива не має точок мінімуму. В цьому випадку розподіл схеми необхідно проводити іншими методами, про що буде сказано далі.

Отримане рішення може не задовольняти конструктора (наприклад, в одному блоці надто мало елементів, тоді як в іншому їх надто багато). Але розглянута методика дає направилення для пошуку оптимального конструктивного рішення.

3. Послідовний алгоритм компоновки

При розробці конструкції може бути задана кількість блоків, на які розбивається схема, кількість елементів кожного блоку та максимально допустима кількість зовнішніх зв'язків кожного блоку. Цю задачу можна вирішити з застосуванням послідовного алгоритму компоновки. Основна ідея цього алгоритму дуже схожа до алгоритму побудови характеристичної кривої і виконується в наступній послідовності:

Підраховуємо кількість елементів кожного рядка матриці суміжності γ_i .

Підраховуємо суму елементів кожного рядка (локальну ступінь вершини) $\rho(x)$.

Знаходимо рядок з мінімальним $\rho(x)$. Якщо таких рядків декілька, вибираємо той, у якого мінімальне γ_i . Якщо і таких рядків декілька, вибір з них довільний. Вибраний елемент є першим елементом першого блоку.

Випишуємо елементи, інцидентні вибраному і підраховуємо для них прирощення зв'язків за формулою (2). Наступним елементом буде елемент, для якого δ_i буде мінімальним. Підраховуємо кількість зв'язків блоку і перевіряємо чи не перевищує вона допустиме значення. Якщо ні, то переходимо до п.3 і вибираємо наступний елемент, доки кількість елементів блоку не буде перевищувати допустиме значення. Якщо на деякому кроці алгоритму кількість зовнішніх зв'язків перевищує допустиме, а кількість елементів не перевищує допустиме значення, запам'ятовуємо цю точку і продовжуємо виконувати алгоритм, доки кількість елементів не перевищить допустиме значення. Якщо кількість зв'язків при цьому не зменшилася, то необхідно зупинитися на тому кроці, на якому кількість зв'язків вишла за допустимі межі.

Формуємо наступний блок по такому ж правилу, але з розгляду вилучаємо елементи, які ввійшли в попередній блок.

Алгоритм закінчується, коли всі елементи будуть розміщені по блокам.

Нехай схему з матрицею суміжності, представленою таблицею 4, необхідно розбити на три блоки з кількістю елементів в кожному від 3 до 6 і з максимальною кількістю зовнішніх зв'язків 6.

Першим елементом першого блоку вибираємо елемент 8 згідно п. 3. Кількість його зовнішніх зв'язків дорівнює 5. Наступним елементом буде вибрано елемент 14 (дивись п. 2). при цьому кількість зовнішніх зв'язків дорівнює 6. Третім елементом буде вибрано елемент 6, а кількість зв'язків зростає до 8 і стає більшою за допустиме значення. Але кількість елементів блоку не перевищєє допустиме, тому продовжуємо вибір елементів. Наступний елемент 1 зменшує кількість зв'язків до 5. Обмеження дозволяють вибрати ще один елемент 13, але кількість зв'язків при цьому збільшиться до 9, що неприпустимо. Тому формування першого блоку на цьому закінчиться.

Формуємо елементи другого блоку. Початковими вершинами можуть бути вершини 2 та 7. Вибираємо елемент 2 з кількістю зв'язків 5. Наступний елемент вибираємо з групи елементів 3, 7, 11 та 13. По п. 4 вибираємо елемент 3. Кількість зв'язків збільшується до 7, що більше допустимого. Наступними елементами будуть вибрані елементи 12 (з кількістю зв'язків 9), 7 (з кількістю зв'язків 8) та 13, що зменшує кількість зв'язків до 4. Тому блок 2 складається з елементів 2, 3, 12, 7 та 13. Решта елементів ввійдуть в третій блок.

Недоліком послідовного алгоритму є велика кількість обчислень, що вимагає великого машинного часу. Крім того, розподіл елементів по блоках може бути нерівномірним, що незручно з конструктивної точки зору.

Практичне заняття № 4 Ітераційний алгоритм компоновки

1. Суть ітераційного алгоритму компоновки

Суть даного алгоритму зводиться до того, що електрична схема розподіляється на задану кількість блоків з однаковою кількістю елементів в кожному блоку. Такий розподіл означає розподіл матриці суміжності на підматриці. Якщо загальна кількість елементів не ділиться без залишку, то вводять відповідну кількість фіктивних елементів, для яких рядки та стопці будуть мати нульове значення.

Зменшення кількості зв'язків між блоками досягається перестановкою елементів різних блоків. Якщо елемент X_i , який належить блоку А, має більшу кількість зв'язків з елементами блоку В, ніж з власними елементами, то переміщення його в блок В приведе до зменшення кількості зовнішніх зв'язків. Визначення кількості зв'язків кожного елемента з елементами власного блоку та з елементами інших блоків можна провести по матриці суміжності (таблиця 5).

Таблиця 5

A_{11}	A_{12}	A_{13}
A_{21}	A_{22}	A_{23}
A_{31}	A_{32}	A_{33}

Сума елементів діагональних підматриць A_{ii} є кількістю зв'язків елементів одного блоку між собою, яку назвемо внутрішніми зв'язками. Сума елементів недіагональних підматриць є кількістю зовнішніх зв'язків. Аналогічно можна визначити і кількість внутрішніх та зовнішніх зв'язків для кожного елемента і вирішити питання необхідності їх перестановки.

Нехай схему, представлену матрицею суміжності (табл. 4) необхідно розбити на три блоки по 5 елементів в кожному. Так як число 14 не ділиться на 3, то введемо ще один фіктивний елемент. Отримаємо таблицю 6.

Таблиця 6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1/2	1/3	2/3
1	0			1		3		1					1	1		-3	-1	-
2		0	2				1				1		1			+1	0	-
3		2	0				1					2	1			+1	-1	-
4	1			0	2				1	1	2					+1	+1	-
5				2	0				3	1						-2	+2	-
6	3					0		2			2			1		-1	-	-1
7		1	1				0					1	1	1		-2	-	-3
8	1					2		0						2		+1	-	0
9				1	3				0	1	1					-3	-	0
10				1	1				1	0	2	1				-1	-	-2
11		1		2		2			1	2	0					-	-3	-5
12			2				1			1		0	2			-	0	0
13	1	1	1				1					2	0			-	-1	+1
14	1					1	1	2						0		-	-1	-4
15															0	-	0	0

По цій матриці можна визначити кількість зв'язків кожного блоку з іншими (рис. 8). Ці зв'язки визначалися по сумі елементів недіагональних підматриць.

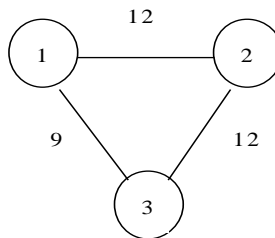


Рис. 8

Загальна кількість зовнішніх зв'язків дорівнює 33.

В трьох останніх стовпчиках матриці проставлена різниця між внутрішніми та зовнішніми зв'язками кожного елемента. Таким чином, знак “мінус” означає, що елемент має більшу

кількість зв’язків з елементами інших блоків і тому доцільно помістити цей елемент в інший блок.

Серед чисел трьох останніх стовпчиків найбільшим по абсолютній величині є число “-5” для елемента 11. Це число знаходиться в стовпчику 2/3, тобто пару для перестановки цього елемента необхідно шукати в другому блоку. Це елемент 7, для якого різниця зв’язків дорівнює “-3”. Тому переставимо місцями елементи 7 та 11. Перестановка елементів означає перестановку відповідних стовпців та рядків матриці. Нова матриця представлена таблицею 7.

Таблиця 7

	1	2	3	4	5	6	11	8	9	10	7	12	13	14	15	1/2	1/3	2/3
1	0			1		3		1					1	1		-3	-1	-
2		0	2				1				1		1			+1	0	-
3		2	0								1	2	1			+2	-2	-
4	1			0	2		2		1	1						-1	+3	-
5				2	0				3	1						-2	+2	-
6	3					0	2	2						1		+1	-	+3
11		1		2		2	0		1	1						+1	-	+4
8	1					2		0						2		+1	-	0
9				1	3		1		0	1						-2	-	+2
10				1	1		2		1	0		1				+1	-	+2
7		1	1								0	1	1	1		-	+1	+3
12			2							1	1	0	1			-	0	+1
13	1	1	1								1	1	0			-	-1	+2
14	1					1		2			1			0		-	0	-2
15																		

Підрахуємо кількість зовнішніх зв’язків (рис. 9)

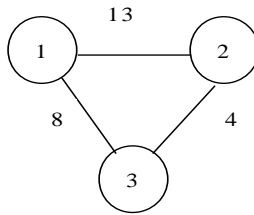


Рис. 9

Кількість зовнішніх зв'язків зменшилася до 25. Знову підрахуємо різницю кількості зв'язків для кожного елемента. Визначаємо, що поміняти місцями доцільно 1 та 9 елементи.

Нова матриця має вигляд таблиці 8.

Таблиця 8

	9	2	3	4	5	6	11	8	1	10	7	12	13	14	15	1/2	1/3	2/3
9	0			1	3		1			1						+2	+4	-
2		0	2				1				1		1			+1	0	-
3		2	0								1	2	1			+2	-2	-
4	1			0			2		1	1						+3	+1	-
5	3			2	0					1						+4	+5	-
6						0	2	2	3					1		+7	-	+6
11	1	1		2		2	0			2						0	-	+4
8						2		0	1					2		+3	-	+2
1				1		3		1	0				1	1		+3	-	+2
10	1			1	1		2			0		1				-1	-	+1
7		1	1								0	1	1	1		-	+1	+3
12			2							1	1	0	1			-	0	+1
13		1	1						1		1	2	0			-	+1	+2
14						1		2	1		1					-	+1	-3
15																		

Визначимо нову кількість зв'язків (рис. 10)

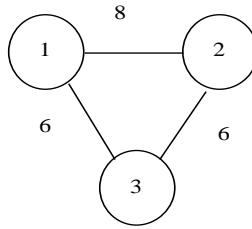


Рис. 10

Загальна кількість зв'язків зменшилася до 20.

Підрахуємо різницю зв'язків для елементів. Переставити можна елементи 4 та 10. Нова матриця має вигляд таблиці 9.

Таблиця 9

	9	2	3	10	5	6	11	8	1	4	7	12	13	14	15	1/2	1/3	2/3
9	0			1	3		1			1						+2	+4	-
2		0	2				1				1		1			+1	0	-
3		2	0								1	1	1			+2	-1	-
10	1			0	1		2			1		1				-1	+1	-
5	3			1	0					2						+2	+4	-
6						0	2	2	3					1		+7	-	+6
11	1	1		2		2	0			2						0	-	-4
8						2		0	1					2		+3	-	+1
1						3		1	0	1			1	1		+5	-	+3
4	1			1	2		2		1	0						-1	-	+3
7		1	1								0	1	1	1		-	+1	+3
12			2	1							1	0	1			-	-1	+3
13		1	1						1		1	2	0			-	+1	+2
14						1		2	1		1			0		-	+1	-3
15																		

Підрахуємо кількість зовнішніх зв'язків (рис. 11)

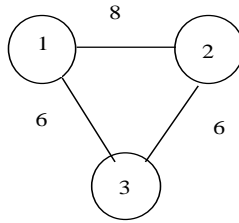


Рис. 11

Кількість зовнішніх зв'язків не змінилася. Це говорить про те, що подальша перестановка елементів недоцільна. Аналіз останньої таблиці це підтверджує. Згідно з таблицею можна переставити місцями 4 та 10 елементи, які на попередній ітерації вже переставлялися. Крім того, для елемента 14 є стовпчик, для якого різниця зв'язків дорівнює “-3”, але в другому блоку для нього немає пари для перестановки. Тому вважаємо задачу вирішеною.

Аналіз останньої таблиці показує, що при різниці зв'язків в “-1” перестановка елементів практично нічого не дає. Крім того, рішення може не сходитися, що видно на прикладі елементів 4 та 10.

Як правило, ітераційний алгоритм дає необхідний результат за 3 - 4 ітерації і в цьому його головна перевага.

Практичне заняття № 5

Розміщення елементів на монтажній площині

1 Задачі та критерії розміщення

Початковою інформацією для вирішення задачі розміщення елементів на монтажній площині є розміри друкованої плати, геометричні розміри елементів, схема їх з'єднання (таблиця суміжності), а також ряд обмежень на взаємне розташування елементів. Задача зводиться до пошуку для кожного елемента такої позиції на площині, при якій оптимізується вибраний показник якості.

Основна складність в постановці задачі розміщення полягає в виборі цільової функції. Це пов'язано з тим, що однією з головних задач розміщення є створення найбільш сприятливих умов для проведення трас з'єднань (мінімальна кількість пересічень провідників), що неможливо перевірити без проведення трас. Інші критерії оцінки якості розміщення, хоч і створюють сприятні умови для трас, не гарантують отримання найбільш оптимального варіанту.

Всі алгоритми розміщення, які використовують опосередковані критерії, лиш якісно сприяють рішенню задачі проведення трас.

Найчастіше застосовується критерій, який мінімізує сумарну довжину з'єднань. При такому підході найбільш близько розташовуються елементи, які мають максимальну кількість з'єднань, що спрощує проведення трас. Алгоритми, які засновані на цьому критерію, досить легко реалізуються.

В вирішенні задачі розміщення існує два підходи. В першому випадку вирішується задача визначення точного розміщення елементів з урахуванням їх геометричних розмірів. При іншому підході визначається лише взаємне розташування елементів, що дозволяє не враховувати їх геометричні розміри та розміри друкованої плати, а всі відстані виражати в відносних числах. Перший підхід застосовують при проведенні трас з'єднань, а другий — при визначенні взаємного розташування елементів схеми.

При вирішенні задачі розміщення вважається, що монтажна площа розбита на ряд областей, в кожній з яких можна помістити один елемент. Відстань між окремими областями визначається за формулою:

$$d_{ij} = (x_i - x_j) + (y_i - y_j), \quad (3)$$

де x, y — координати відповідних місць розміщення.

При рівномірному розташуванні елементів на платі (що найчастіше зустрічається) відстань між ними визначається цілими числами.

2. Ітераційний алгоритм розміщення

Для данної плати складають матрицю відстаней, елементом якої є відстань між посадочними місцями. Елементи знаходяться в місцях розміщення в довільному порядку. Загальна довжина з'єднань визначається за формулою:

$$L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N d_{ij} \cdot m_{ij}, \quad (4)$$

де m_{ij} — елементи матриці суміжності.

Оптимальне розміщення елементів можна отримати перебором всіх варіантів розміщення, для кожного з яких визначається довжина з'єднань. Оптимальним буде той варіант, для якого ця довжина мінімальна. Такий метод вимагає великого машинного часу та об'єму пам'яті, так що при $N = 30$ отримати результат за прийнятний час неможливо навіть на найсучасніших ЕОМ.

На практиці часто застосовують ітераційний алгоритм, заснований на парній перестановці елементів, початкове розміщення яких задано.

При парній перестановці двох елементів зміна сумарної довжини визначається за формулою:

$$\Delta L = \sum_{t=1}^N (d_{it} - d_{jt})(m_{it} - m_{jt}), \quad (5)$$

при $i \neq j$

Якщо ΔL величина додатня, то перестановка елементів приведе до збільшення довжини з'єднань і навпаки. Елемент X_i міняється місцями з елементом X_j , для якого ΔL від'ємна і має найбільше значення. Перестановка елементів означає заміну відповідних рядків та стовпців матриці суміжності. Матриця відстанів при цьому залишається незмінною, тому що вона визначає відстань між посадочними місцями. З чисто практичної точки зору можна залишити незмінною матрицю суміжності, але перерахувати

матрицю відстаней, особливо тоді, коли ця матриця будується за допомогою ЕОМ.

Розйом при цьому вважається одним елементом, а відстань від нього до елементів, які розташовані в одному рядку, вважається однаковою. Цілком зрозуміло, що розйом в перестановці участі не бере.

Елементи, які на попередній ітерації переставлялися, в подальшому участі в перестановці не беруть.

Нехай маємо схему, матриця суміжності якої представлена таблицею 10, причому елемент 6 є розйомом.

Таблиця 10

	1	2	3	4	5	6
1	0			2		1
2		0	3	2		
3		3	0		2	1
4	2	2		0	2	1
5			2	2	0	
6	1		1	1		0

Монтажна площа і посадочні місця представлені на рис.12

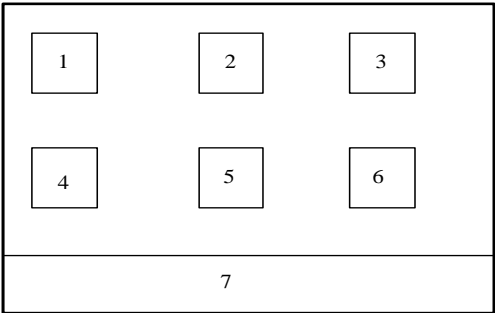


Рис. 12

Монтажна площа має 6 посадочних місць і одне (7) для розйома. Матриця відстаней зображена таблицею 11.

Таблиця 11

	1	2	3	4	5	6
1	0	1	2	1	2	2
2	1	0	1	2	1	2
3	2	1	0	3	2	2
4	1	2	3	0	1	1
5	2	1	2	1	0	1
6	2	2	2	1	1	0

Вважаючи, що при початковому розміщенні номер елемента співпадає з номером посадочного місця (місце 6 вільне), підрахуємо прирощення довжини зв'язків для всіх елементів:

$$\Delta L_{12} = -2; \Delta L_{13} = -4; \Delta L_{14} = 4; \Delta L_{15} = 2; \Delta L_{23} = 6$$

$$\Delta L_{24} = 3; \Delta L_{25} = 3; \Delta L_{34} = -3; \Delta L_{35} = 5; \Delta L_{45} = 2$$

Найбільше від'ємне число має пара 1 та 3, тобто слід переставити місцями елементи 1 та 3. Нова плата зображена на рис. 13

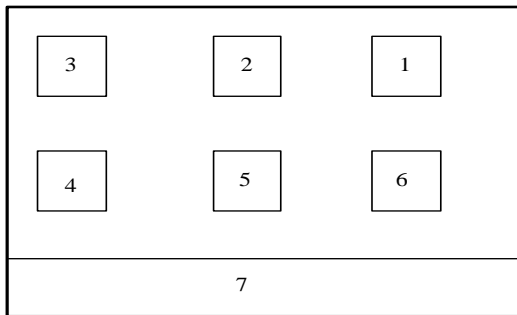


Рис. 13

А нова матриця відстаней в таблиці 12.

Таблиця 12

	1	2	3	4	5	6
1	0	1	2	3	2	2
2	1	0	1	2	1	2
3	2	1	0	1	2	2
4	3	2	1	0	1	1
5	2	1	2	1	0	1
6	2	2	2	1	1	0

Підрахуємо зміну довжин, причому елементи 1 та 3 в перестановці більше участі не беруть.

$$\Delta L_{24} = 11; \Delta L_{25} = -1; \Delta L_{45} = 10.$$

Переставити місцями можна елементи 2 та 5. Остаточне розміщення представлено на рис.14

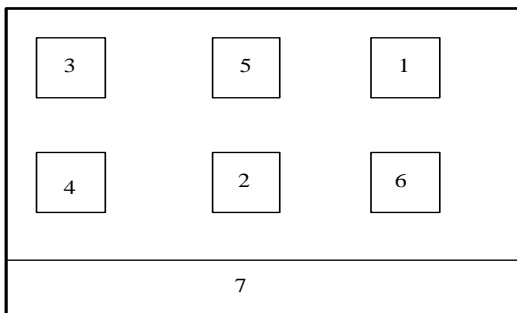


Рис. 14

Як правило, необхідний результат отримують за 3-4 ітерації.

Недоліком даного алгоритму є залежність остаточного результату від початкового розміщення елементів. Існують алгоритми, які дозволяють вносити відповідні корективи в остаточне розміщення, але їх розгляд в даному методичному посібнику не передбачено.

Висновок.

Рішення подібних задач доцільно проводити на ЕОМ, тому що ручне рішення вимагає великого часу.