Трасування з'єднань в ДП.

Вирішення задаіі трасування провідників можона умовно представити у вигляді чотирьох етапів, що виконуються послідовно:

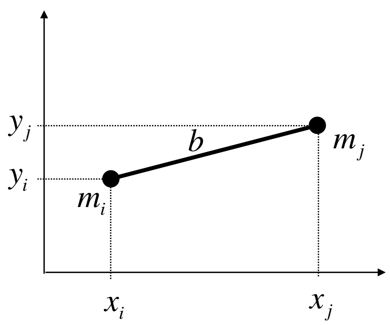
1. Визначення переліку з'єднань. $A=\left|a_{jl}\right|_{m\times k}$, $B=\left|b_{il}\right|_{n\times k}$, провідники. (*Побудова дерев, що оптимально зв'язують; розміщення по шарам*)
2. Розбиття вихідних ребер на непересічні підмножини
3. Визначення порядку з'єднань (визначення черговості побудови з'єднань на кожному шарі плати)
4. Трасування провідників

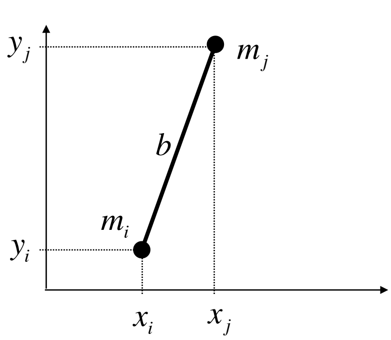
Для **першого етапу**: $\|A\|$, $\|B\|$, $\|T\|$, $\|TR\|$

Вихідна інформація для першого етапу - це перелік з'єнань контактів кожного елементу з контактами іншого КЕ. Зрозуміло, що якщо перелік містить мало контактів та контакти розташовані рядами (два, три), то й траса буде простою. Труднощі виникають тоді, коли один контакт необхідно оз'єднати з декількома або перелік містить велике число контактів, розташованих по всьому полю монтажного простору - траса буде складною. В цьому випадку використовують алгоритм побудови **НВЗ,** найкоротших покриваючих дерев **Пріма** або **Штайера**.
На цьому етапі ЕОМ не виконує трасування, вона тільки вирішує, які проовідники повинні бути розтрасовані.

2. Розбиття вихідних ребер на підмножини, що не перетинаються.
Найбільш ефективним критерієм розбиття рахується критерій, по якому всі ребра розбиваються на підмножини горизонтально орієнтованих ребер та підмножини вертикально орієнтованих ребер. Цей критерій спрощує задачу проектування друкованих провідників, спрощуються питання електромагнітної сумісності.

Виділимо ознаки горизонтальності та вертикальності ребер.
Будемо рахувати, що ребро $b\left(m_i,m_j\right)$ орієнтовано **горизонтально**, якщо $\left|x_i-x_j\right|>\left|y_i-y_j\right|$, де x_i,y_i та x_j,y_j - координати вершин m_i та m_j.

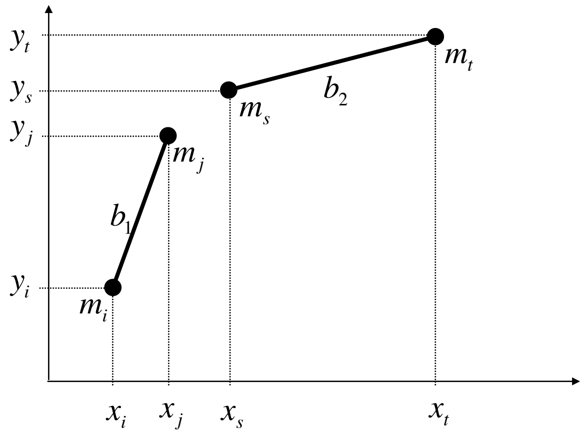




В противному випадку будемо відносити ребро до підмножини вертикально орієнтованих, тобто $\left|y_i-y_j\right|>\left|x_i-x_j\right|$

Таке розподілення ребер на горизонтально та вертикально орієнтовані підмножини **виключає їх перетин** кожному в окремо взятих випадках.

Розглянемо критерії відсутності перетину двох ребер.
Очевидно, що якщо координати вершин двох ребер $b_1\left(m_i, m_j\right)$ та $b_2\left(m_s, m_t\right)$ задовольняють одній з умов, то



Згідно рисунку

$$\begin{cases} x_i < x_s, x_i < x_t, x_j < x_s, x_j < x_t \\ y_i < y_s, y_i < y_t, y_j < y_s, y_j < y_t \end{cases}$$

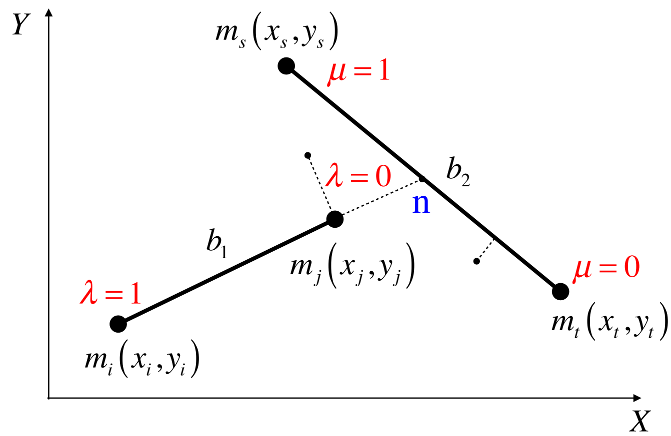
можна написати по іншому , змінивши нерівності

Обміняємо місцями $b_1\left(m_i, m_j\right)$ та $b_2\left(m_s, m_t\right)$

$$\begin{cases} x_i > x_s, x_i > x_t, x_j > x_s, x_j > x_t \\ y_i > y_s, y_i > y_t, y_j > y_s, y_j > y_t \end{cases}$$

В цих випадках ребра завідомо не перетинаються, тому що вони рознесені в просторі.

Бувають такі випадки. Вище заначені умови не виконуються - або хоч одне з них - але самі ребра не перетинаються, як на приклад на малюнку. Тоді необхідно провести додаткові дослідження та показати чи є перетини ребер чи вони не перетинаються.



Для відрізків складної конфігурації потрібно написати в параметричній формі рівняння для кожної його частини та для кожної частини визначити λ та μ.

λ та μ - параметричні коефіцієнти.

Запишемо рівняння кожного з цих ребер - b_1 та b_2 - в параметричній формі:

$$b_1 = \begin{cases} x = \lambda x_1 + (1-\lambda)x_j \\ y = \lambda y_i + (1-\lambda)y_j \end{cases} \text{ та } b_2 = \begin{cases} x = \mu x_s + (1-\mu)x_t \\ y = \mu y_s + (1-\mu)y_t \end{cases}$$

Допустимо, що ребра b_1 та b_2 перетинаються

При перетині $b_1(m_i, m_j)$ та $b_2(m_s, m_t)$ в точці ***n*** їх координати рівні

$$x_{n(b_1)} = x_{n(b_2)}, \quad y_{n(b_1)} = y_{n(b_2)}$$

Тоді, згідно рівнянь, отримаємо:

$$\lambda x_i + (1-\lambda)x_j = \mu x_s + (1-\mu)x_t$$
$$\lambda y_i + (1-\lambda)y_j = \mu y_s + (1-\mu)y_t$$

Визначемо λ та μ через координати

$$\lambda = \frac{(x_s - x_t)(y_s - y_t) - (y_s - y_t)(x_j - x_t)}{(x_s - x_t)(y_j - y_i) - (y_s - y_t)(x_j - x_i)}$$
$$\mu = \frac{(x_j - x_t)(y_j - y_i) - (y_j - y_t)(x_j - x_i)}{(x_s - x_t)(y_j - y_i) - (y_s - y_t)(x_j - x_i)}$$

При

$\lambda = 1 \quad x = x_i, y = y_i$

$\lambda = 0 \quad x = x_j, y = y_j$

При

$\mu = 1 \quad x = x_s, y = y_s$

$\mu = 0 \quad x = x_t, y = y_t$

Перетен ребер $b_1(m_i, m_j)$ *та* $b_2(m_s, m_t)$ ***має*** місце тільки при $0 \le \lambda \le 1$ та $0 \le \mu \le 1$

Таким чином ми визначили умови перетину (не перетину) ребер.

Якщо ребро має більш складну форму, то необхідно умову їх претину перевірити для кожної складової складного по формі відрізка.

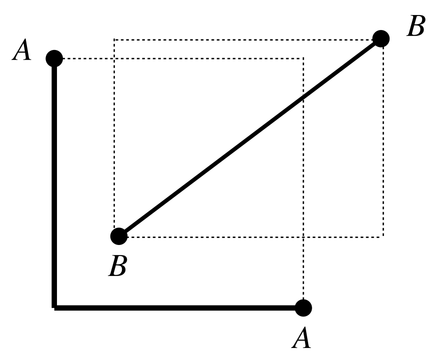
3. Визначення порядку з’єднань

Після визначення переліку трасуємих з’єднань вирішується задача розміщення провідників по шарункам. Вона зводиться до відшуку такого розташування провідників в шарунках, щоб в кожному зних число можливих перетинів було мінімальним. Кінцевий варіант розміщення по шарунках можна покращити, якщо проаналізувати кожен провідник.

Проблему розміщення з’єднань по шарункам розглядають як задачу розфарбування спеціального графу.

На третьому етапі виконується дослідження шарунків з ціллю точного визначення можливості трасування в них провідників.

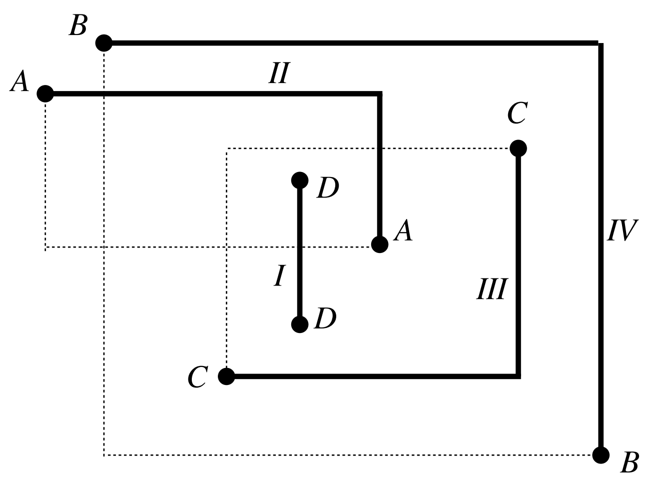
Після того, як всі з’єднання розподіленні по шарунках - визначають порядок побудови з’єднянь. Послідовність проведення ребер, що не перетинаються може бути будь-яка, яле є й правила.
Для двох провідників існує правило вибору: будують прямокутник на виводах **АА**; будують прямокутник на виводах **ВВ** - тобто першим будують **ребро ВВ**, а потім **АА**.
Якщо ***один*** з виводів потрапляє до прямокутника, то **пешим** будують ребро на цих виводах.



Надаль, незавжди це правило має сенс.

Сформулюємо загальне еврістичне правило **Айкерса** про порядок трасування провідників (що не перетинаються): провідники трасуються в порядку збільшення їх пріоритетних номерів. Пріоритетній номер провідника ϑ дорівнює числу контактів в прямокутнику.

Приклад. Потрібно побудувати непересічні провідники v_{AA}, v_{BB}, v_{CC}, v_{DD}.



Для цього рисунку визначимо порядок трасування провідників v_{AA}, v_{BB}, v_{CC}, v_{DD}. Побудуємо прямокутники, до яких входять відповідні виводи. По правилу Айкерса визначаємо пріоритетні номери: $v_{AA}=1$, $v_{BB}=5$, $v_{CC}=3(2)$, $v_{DD}=0$. Згідно цього правила, порядок трасування буде такий

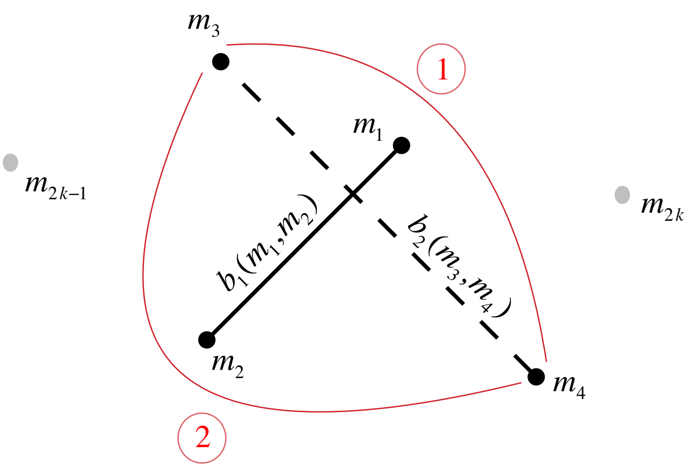
$I - v_{DD}$; $II - v_{AA}$; $III - v_{CC}$; $IV - v_{BB}$

На практиці за звичай короткі горизонтальні та вертикальні провідники трасуються першими, далі трасуються провідники, що їх оточують - горизонтальні та вертикальні =. Останніми трасуються довгі провідники.

Було б цікаво взнати, в якій послідовності трасуються провідники в Altium (в послідовності як вони вводяться, або згідно їх довжини - спочатку короткі а потім довгі та ще довші і т.д.

Для ребер, що перетинаються послідовність проведення з'єднання в значній степені визначають дожину провідників.

Для визначення послідовності трасування цих з'єднань розглянемо вираз подовження для всих можливих пар ебер що перетинаються $b_1(m_1,m_2), b_2(m_3,m_4), \ldots, b_k(m_{2k-1},m_{2k})$



Якщо першим проведено ребро $b_1(m_1,m_2)$, то інші ребра, що з ним перетинаються можуть бути отримані (побудовані) тільки шляхом огинання вершин m_1 та m_2.

Допустимо, що при огинанні вершин дозволяється як завгодно близьке до ним наближення. Тоді подовження від огинання m_1 та m_2 визначаються.

Першим проведено ребро $b_1(m_1,m_2)$

$$\left.\begin{aligned}\Delta d^1_{m_1} &= d(m_1,m_3)+d(m_1,m_4)-d(m_3,m_4)\\ \Delta d^2_{m_2} &= d(m_2,m_3)+d(m_2,m_4)-d(m_3,m_4)\end{aligned}\right]\min$$

номер вершине, яку огинаємо

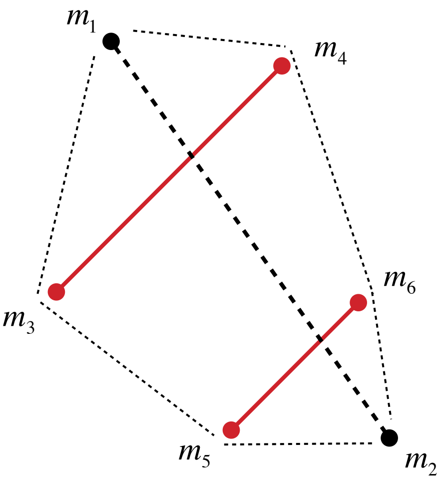
$$\Delta d_k^{(1)} = d(m_1,m_{2k-1})+d(m_1,m_{2k})-d(m_{2k-1},m_{2k})$$
$$\Delta d_k^{(2)} = d(m_2,m_{2k-1})+d(m_2,m_{2k})-d(m_{2k-1},m_{2k})$$

Якщо першим проведено ребро $b_2(m_3,m_4)$, то отримуємо такі подовження ребер

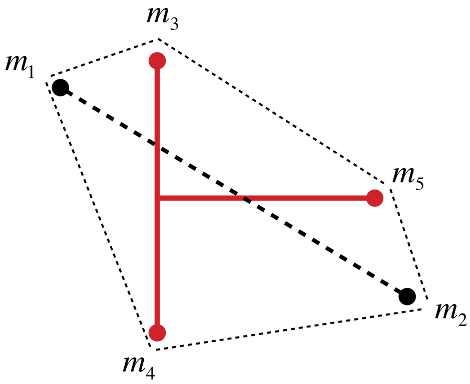
$$\left.\begin{array}{l}\Delta d^{(3)} = d(m_3,m_1) + d(m_1,m_4) - d(m_3,m_4) \\ \Delta d^{(4)} = d(m_3,m_2) + d(m_4,m_2) - d(m_3,m_4)\end{array}\right]\min$$

$$\Delta d_k^{(3)} = d(m_3,m_{2k-1}) + d(m_3,m_{2k}) - d(m_{2k-1},m_{2k})$$
$$\Delta d_k^{(4)} = d(m_4,m_{2k-1}) + d(m_4,m_{2k}) - d(m_{2k-1},m_{2k})$$

Якщо обходимо декілька вершин - тоді отримаємо:



$a)$



$b)$

Необхідно побудувати провідник m_1m_2

a) провідники m_3m_4, m_5m_6 побудовані

$$\Delta d^1 = d(m_1,m_4) + d(m_4,m_6) + d(m_6,m_2) - d(m_1,m_2)$$
$$\Delta d^2 = d(m_1,m_3) + d(m_3,m_5) + d(m_5,m_2) - d(m_1,m_2)$$

b) провідник $m_3m_4m_5$ побудований

$$\Delta d^1 = d(m_1,m_3) + d(m_3,m_5) + d(m_5,m_2) - d(m_1,m_2)$$
$$\Delta d^2 = d(m_1,m_4) + d(m_4,m_2) - d(m_1,m_2)$$

З кожної пари подовжень вибираємо найменше та запам’ятовуємо.

Послідовність проведення трас така. З цього масиву першими проводять ребра, що не огинають інші ребра.
Далі будуємо ребра, що мають одне, два огинання. При чому, при однаковій кількості огинань, в першу чергу проводимо ребра, що мають мінімальне подовження. Враховуючи те, що при огинанні можуть виникнути додаткові перетини, то необхідно провести додаткову перевірку на перетини.

4. Трасування провідників.

Після встановлення черговості побудови з'єднань для кожного шару **ДП** виконують трасування друкованих провідників за допомогою хвильових алгоритмів.
Для зменшення паразитних ємностей монтажу **БДП** бажано, щоб напрямки провідників в сусідніх шарах був взаємно-перпендикулярним. В процесі трасування ця вимога враховується шляхом чергування при переході з шару до шару прірітету присвоєння шляхових координат (з горизонтального на вертикальний та навпаки)

Побудова з'єднань кожного шару починають з трас, що не перетинаються. Після цього трасування виконують в порядку, що був визначений на попередньому етапі. Ті з'єднання, що не можуть бути реалізовані в данному випадку, переносять на наступні шари плати. Після розведення провідників першого шару, наприклад вертикального, переходять до наступного шару - горизонтальною орієнтацією провідників і т.д.

При малому заповненні наступних шарів **БДП** виконують перерозподіл провідників з попередніх шарів. Вказаний порядок пошарового трасування з'єднань сприяє мінімізації числа шарів металізації **БДП**.

В цьому випадку збільшення числа провідників складної конфігурації, збільшується середня сумарна довжина, тому що визначенні з'єднання будуються в визначених шарах, мала щільність заповнення провідниками кожного з шарів.

Все сказано відноситься до **БДП**.