

4. Сравните между собой волновые и лучевые алгоритмы трассировки.
5. Для заданного пренодавателя вида ДРП проведите трассировку соединения между двумя указанными точками.

### Работа 3. КАНАЛЬНАЯ ТРАССИРОВКА СОЕДИНЕНИЙ В БИС

**Цель работы:** изучить и практически овладеть алгоритмами канальной трассировки соединений в БИС.

#### Общие сведения

**Канальная трассировка** — проведение соединений (коммутиация выводов каждой цепи) в канале БИС.

**Канал** — это область на кристалле БИС прямоугольной формы, на одной или нескольких сторонах которой расположены контакты (выводы логических элементов БИС, принадлежащие цепям), с которой темой одинаково направленных магистралей.

**Магистраль** — отрезок прямой (выоль канала), по которому может проходить соединение. Сечение — аналогичный отрезок прямой поперек канала. По направлению магистралей различают горизонтальные и вертикальные каналы. По числу сторон, на которых имеются контакты, различают одно-, двух-, трех- и четырехсторонние каналы. Для проведения соединений на кристалле чаще используют одно- и двухсторонние каналы.

**Ширина** (пропускная способность) **канала** — это число его магистралей. **Загрузка канала** — число занятых магистралей.

Алгоритмы трассировки для вертикальных и горизонтальных каналов идентичны, поэтому рассмотрим горизонтальный двухсторонний канал.

Вывод элемента БИС будем изображать точкой на стороне канала с указанием номера электрической цепи, к которому данный вывод принадлежит (рис. 3.1). Так как существенно относительно расположение выводов на верхней и нижней сторонах канала, поэтому на рис. выводов с одинаковой абсциссой (координатой по оси ОХ, идущей вдоль канала, например, по верхней его стороне) соединены пунктиром.

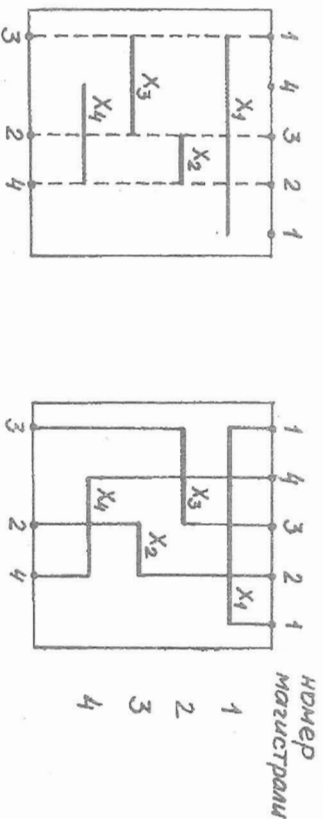


Рис. 3.1

Рис. 3.2

Решение задачи канальной трассировки БИС будем искать в классе цепей простейших конфигураций: *r*-выводная цепь содержит один горизонтальный и *r* вертикальных отрезков. На рис. 3.2 изображен пример канала с четырьмя цепями, каждая из которых представлена одним горизонтальным и двумя вертикальными отрезками.

Отметим, что обычно горизонтальные отрезки всех цепей располагают в первом коммутиационном слое, а вертикальные — во втором, т.е. для проведения всех соединений элементов БИС в соответствии с ее логической схемой используется два коммутиационных слоя. В месте пересечения вертикальных и горизонтальных отрезков одной цепи, находящиеся в разных слоях, имеется межслойный переход. Поэтому вертикальные отрезки цепей, не пересекающие горизонтальные отрезки других цепей, последовательно переводят в первый коммутиационный слой.

Любая цепь  $C_j$  полностью определяется:

- а) горизонтальным отрезком  $X_j = [x_j^H, x_j^K]$ , абсциссами начала  $x_j^H$  и конца  $x_j^K$  которого являются соответственно минимальная и максимальная среди абсцисс  $x_{ji}$  всех выводов  $i$  данной цепи  $C_j$ :

$$x_j^H = \min_{i \in C_j} [x_{ji}], \quad x_j^K = \max_{i \in C_j} [x_{ji}],$$

- б) номером  $n$  магистралей, на которую этот отрезок назначен (на пример, на рис. 3.2 цепь  $C_3$  полностью определяется горизонтальным отрезком  $X_3$ , назначенным на вторую магистраль).

необходимо ориентировать граф с помощью ориентированных ребер

не обязательно ориентировать граф с помощью ориентированных ребер

Основная цель канальной трассировки заключается в том, чтобы в таком назначении всех соединений на магистраль, чтобы загрузка канала была минимальной и удовлетворялись горизонтальные и вертикальные ограничения на расположение соответственно горизонтальных и вертикальных отрезков всех цепей данного канала БИС.

Горизонтальные ограничения состоят в том, что горизонтальные отрезки различных цепей можно назначить на одну магистраль только, если их проекция на любую магистраль не перекрываются между собой (не имеют ни одной общей точки). Для описания таких ограничений служит неориентированный граф горизонтальных ограничений  $Z_1 = (V, U_1)$ , вершины  $v_j \in V$  которого соответствуют горизонтальным отрезкам  $X_j$  цепей  $C_j, j = \overline{1, I}$ , а ребро  $u_k = (v_i, v_j) \in U_1$  в том случае, если проекции  $P_{X_i}$  и  $P_{X_j}$  на одну прямую (параллельную магистраль) соответствующих горизонтальных отрезков  $X_i$  и  $X_j$  цепей между собой перекрываются:

$$P_{X_i} \cap P_{X_j} \neq \emptyset.$$

Если обозначим через  $n_i$  номер магистрали, на которую назначается горизонтальный отрезок  $X_i$  цепи  $C_i$ , то горизонтальные ограничения будут иметь вид:  $n_i \neq n_j$  для  $(v_i, v_j) \in U_1$ .

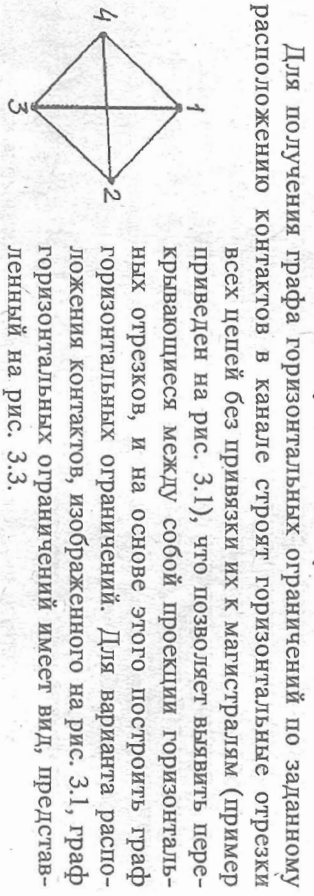


Рис. 3.3

Для получения графа горизонтальных ограничений по заданному расположению контактов в канале строят горизонтальные отрезки всех цепей без привязки их к магистральм (пример приведен на рис. 3.1), что позволяет выявить перекрывающиеся между собой проекции горизонтальных отрезков, и на основе этого построить граф горизонтальных ограничений. Для варианта расположения контактов, изображенного на рис. 3.1, граф горизонтальных ограничений имеет вид, представленный на рис. 3.3.

Вертикальные ограничения состоят в том, что не должны перекрываться между собой вертикальные отрезки различных цепей БИС. Вертикальные ограничения возникают, когда существует пара контактов на верхней и нижней сторонах канала, принадлежащих разным цепям и имеющих одинаковую абсциссу.

Для описания таких ограничений служит ориентированный граф вертикальных ограничений  $Z_2 = (V, U_2)$  с уже рассмотренным мно-

жеством  $V$  вершин и множеством  $U_2$  дуг. Дуга  $u_k = (v_i, v_j) \in U_2$  в том случае, если контакт  $i$  на верхней стороне канала имеет одинаковую абсциссу с контактом  $j$  на нижней стороне канала. Чтобы не было перекрытия вертикальных отрезков цепей, горизонтальный отрезок  $X_i$  цепи  $C_i$  должен быть расположен на магистраль выше, чем горизонтальный отрезок  $X_j$  цепи  $C_j$  (рис. 3.4). Если  $X_i$  расположен ниже  $X_j$ , то вертикальные отрезки будут перекрываться (рис. 3.5). Отсюда следует, что при возрастающей сверху вниз нумерации магистралей и указанном расположении контактов  $i$  и  $j$  вертикальные ограничения будут иметь следующий вид:  $n_i < n_j$ .

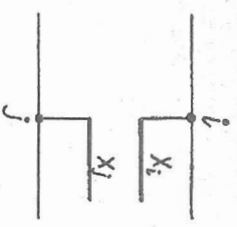


Рис. 3.4

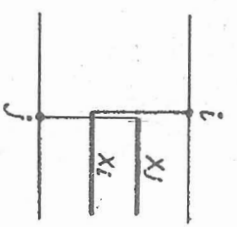


Рис. 3.5

Графы вертикальных ограничений при вариантах расположения контактов, заданных на рис. 3.1 и 3.7, изображены соответственно на рис. 3.6 и 3.8.

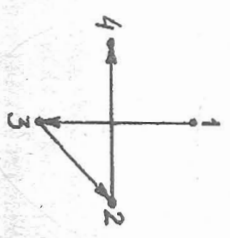


Рис. 3.6

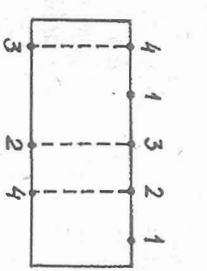


Рис. 3.7

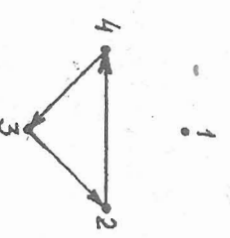


Рис. 3.8

Граф вертикальных ограничений необходимо проверить на наличие в нем ориентированных циклов, свидетельствующих о нарушении вертикальных ограничений. Так, среди двух графов на рис. 3.6 и 3.8 последний граф вертикальных ограничений имеет ориентированный цикл из вершин 4, 3, 2.

Устраняют два способа ориентированного цикла.

Первый из них состоит в решении задачи трассировки в классе расширенных конфигураций, когда цепь представляется двумя горизонтальными отрезками (например, цепь 4 на рис. 3.9 — отрезками 4' и 4'') и, по крайней мере, тремя вертикальными. Для устранения цикла берут любую цепь, горизонтальный отрезок которой входит в этот цикл (обычно цепь с горизонтальным отрезком наибольшей длины), и эту цепь представляют двумя горизонтальными отрезками, причем конец первого из них и начало второго имеют одинаковую абсциссу. Данная абсцисса выбирается (в месте возможного расположения контактов, так как существует минимальное расстояние между ними) такой, чтобы на одной (или даже двух) стороне канала отсутствовал контакт.

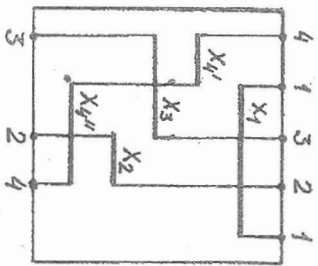


Рис. 3.9

Например, на рис. 3.9 на нижней стороне канала отсутствует контакт между выводами 3 и 2 (на верхней стороне канала ту же абсциссу имеет контакт 1), поэтому именно эту абсциссу имеют конец горизонтального отрезка 4' и начало отрезка 4'' цепи 4.

В графе вертикальных ограничений после устранения цикла по первому способу добавляются одна вершина и три новых дуги, и заменяются две прежние дуги. Это происходит, так как вместо одного входящего в цикл горизонтального отрезка цепи будет два отрезка, а значит, вместо одной появятся две вершины, дуга между ними и две дуги к ним от вершины, соответствующей горизонтальному отрезку с абсциссой, где на нижней стороне канала отсутствует контакт (или две дуги от новых вершин к вершине, соответствующей горизонтальному отрезку, где на верхней стороне канала отсутствует контакт).

Так, вместо изображенного на рис. 3.8 графа вертикальных ограничений с ориентированным циклом при расположении контактов, приведенном на рис. 3.7, после устранения цикла получаем граф вертикальных ограничений, представленный на рис. 3.10. В этом графе вместо вершины 4 появляются две вершины 4' и 4'' и три новые дуги: от 4' к 4'', от 1 к 4' и 4'', а также две прежние дуги от 4 к 3 и от 2 к 4 заменяются на дуги от 4' к 3 и от 2 к 4''. Заметим, что две дуги от 1 к 4' и 4'' появляются, так как в заданном расположении контактов на рис. 3.7 отсутствует контакт на нижней стороне канала

между контактами 3 и 2 под контактом 1. Если бы отсутствовал контакт на верхней стороне канала, например, там, где на рис. 3.7 изображен контакт 1, который бы переместился на нижнюю сторону канала между контактами 3 и 2, то граф вертикальных ограничений имел бы вид, приведенный на рис. 3.11, где две дуги в отличие от графа рис. 3.10 направлены в другую сторону: от 4' к 1 и от 4'' к 1.

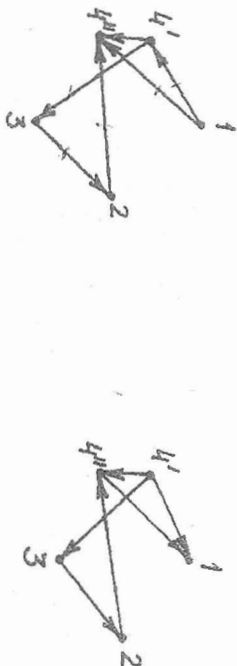


Рис. 3.10

Рис. 3.11

Второй способ устранения ориентированного цикла в графе вертикальных ограничений состоит в том, что меняются местами два контакта (что приводит к перемещению соответствующих дочисленных элементов), один из которых принадлежит цепи с горизонтальным отрезком из цикла наибольшей длины, а вторым является такой контакт, напротив которого на противоположной стороне канала отсутствует контакт. Например, для заданного на рис. 3.7 расположения контактов при втором способе устранения цикла следует поменять местами контакты 4 и 1 на верхней стороне канала, так как горизонтальный отрезок цепи 4 имеет наибольшую длину, а напротив контакта 1 (см. рис. 3.7) на нижней стороне канала между 3 и 2 отсутствует контакт. Тогда получим расположение контактов и горизонтальных отрезков без привязки их к масштабам, изображенное на рис. 3.1, граф горизонтальных ограничений (рис. 3.3) и граф вертикальных ограничений (рис. 3.6) без ориентированного цикла.

После устранения ориентированных циклов в графе вертикальных ограничений для осуществления трассировки строится обобщенный граф ограничений  $Z = (V, U)$ , где  $V$  — уже рассмотренное множество вершин,  $U$  — множество звеньев (ребер и дуг). Звеньями  $u_i = (v_i, v_j) \in U$  соответствуют ребра из графа горизонтальных отрезков и дуги из графа вертикальных ограничений. Если две вершины соединены одновременно и дугой и ребром, то в графе  $Z$  оставляют только дугу. Так, для расположения контактов на рис. 3.7 при первом

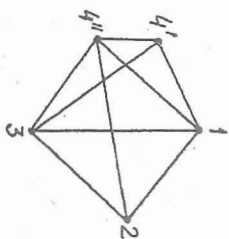


Рис. 3.12

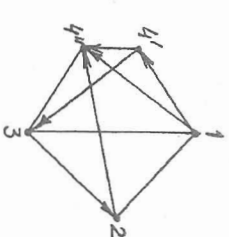


Рис. 3.13

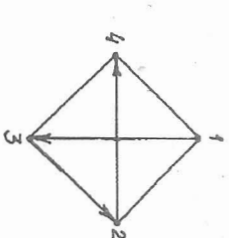


Рис. 3.14

способе устранения цикла по графам горизонтальных ограничений на рис.3.12 и вертикальных ограничений на рис.3.10 получаем обобщенный граф на рис.3.13, а при втором способе устранения циклов по графам на рис.3.3 и 3.6 получаем обобщенный граф на рис.3.14.

Введем следующие обозначения:  $V^* \subset V$  — множество вершин графа  $Z$ , не имеющих входящих дуг, упорядоченное по возрастанию абсциссы начала соответствующих этим вершинам горизонтальных отрезков;  $V^{(r)}$  — совокупность горизонтальных отрезков цепей, называемых на магистраль с номером  $r$ .

Алгоритм канальной трассировки состоит в следующем:

1. Примем  $r=0$  и найдем  $V^*$ .
2. Положим  $r=r+1$ ;  $W=0$ ;  $x(W)=0$ .
3. Для расположения на каждой магистрали как можно большего числа горизонтальных отрезков цепей найдем такой горизонтальный отрезок  $X_i \in V^*$ , для которого  $x_i^H > x(W)$  и разность  $x_i^H - x(W)$  минимальна.

4. Если такой отрезок существует, то запишем  $X_i$  в список  $W$ , примем  $x(W) = x_i^H$  и перейдем к п.3, иначе к п.5.

5. Для назначения горизонтальных отрезков цепей на магистраль  $r$  положим  $V^{(r)} = W$ , удалим из графа  $Z$  все вершины, составляющие  $V^{(r)}$ , и все инцидентные им ребра и дуги. Найдем  $V^*$ .

6. Если  $V^* = 0$ , то переходим к п.7, иначе к п.2.

7. Конец алгоритма.

Согласно алгоритму канальной трассировки по приведенным на рис.3.13 и 3.14 обобщенным графам ограничений получим представленные соответственно на рис.3.9 и 3.2 результаты канальной трассировки.

36 *7. С целью минимизации отрезков цепей, все ребра и дуги графа удаляются, и цепь не может быть построена.*

сировки, соответствующие первому и второму способам устранения цикла.

**Варианты задания**

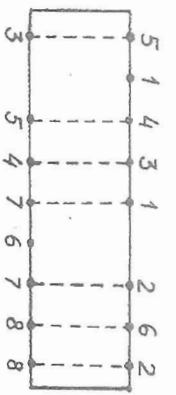
Номер Вашего варианта  $N$  равен Вашему порядковому номеру в списке группы. Для каждого варианта задания  $N=1, 16$  дано расположение контактов (выводов логических элементов ВИС с указанием номеров цепей, к которым принадлежат данные выводы) на сторонах двухстороннего горизонтального канала ВИС, изображенное на рис. 3.  $N+14$  (например, для варианта 1 — рис. 3.15).

**Порядок выполнения работы**

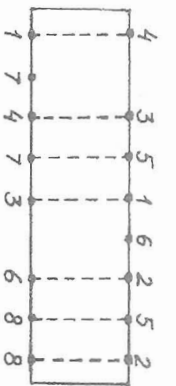
Для Вашего варианта задания необходимо:

1. Построить расположение горизонтальных отрезков цепей без привязки их к магистралям и на основе этого граф горизонтальных ограничений.
2. Получить граф вертикальных ограничений, найти в нем ориентированный цикл.
3. Устранить этот цикл в соответствии с первым способом (представляя одну цепь двумя горизонтальными отрезками) и построить граф вертикальных ограничений без циклов.
4. Получить обобщенный граф ограничений.
5. Согласно алгоритму провести трассировку соединений в горизонтальном канале ВИС при первом способе устранения цикла.
6. Устранить найденный в п.2 ориентированный цикл в соответствии со вторым способом (меняя местами два контакта).
7. Для полученного в п. 6 расположения контактов построить горизонтальные отрезки цепей без привязки их к магистралям, графы горизонтальных и вертикальных ограничений, обобщенный граф ограничений, согласно алгоритму провести трассировку соединений в горизонтальном канале ВИС при втором способе устранения цикла.
8. Показать преподавателю полученные Вами результаты канальной трассировки.
9. Провести канальную трассировку на ЭВМ, для чего
  - 9.1. создать файл исходных данных с Вашим вариантом задания (имя файла может быть любым, например, <math>N>.dat, где  $N$  — номер варианта).

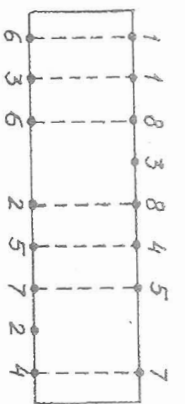
37 *Стоимость работы, начисленная на магистраль, не должна превышать заданную.*



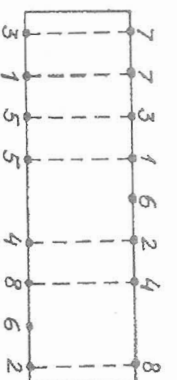
Pnc. 3.15



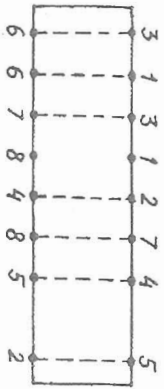
Pnc. 3.16



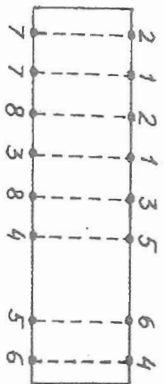
Pnc. 3.23



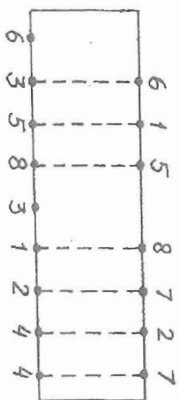
Pnc. 3.24



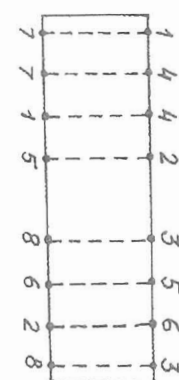
Pnc. 3.17



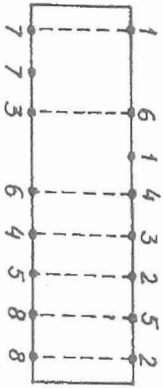
Pnc. 3.18



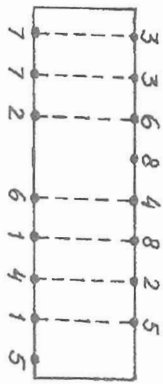
Pnc. 3.25



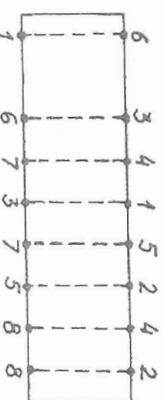
Pnc. 3.26



Pnc. 3.19



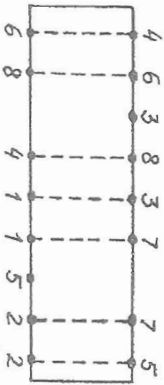
Pnc. 3.20



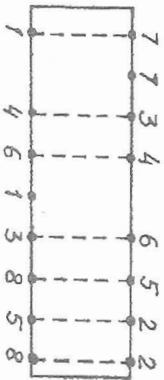
Pnc. 3.27



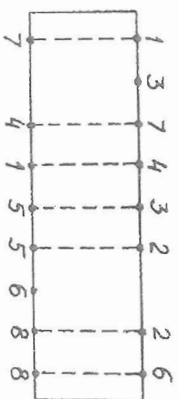
Pnc. 3.28



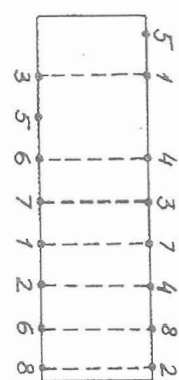
Pnc. 3.21



Pnc. 3.22



Pnc. 3.29



Pnc. 3.30

Вашего варианта; файл содержит две строчки, соответствующие верхней и нижней стороне канала, с номерами контактов через пробел);

9.2. набрать *save.exe* [Enter];

9.3. указать имя Вашего файла исходных данных, нажать [Enter] (автоматически будет создан файл с этим именем и расширением .out с результатами трассировки при первом способе устранения цикла);

9.4. исправить файл исходных данных согласно изменению расположения двух контактов, полученному в п.6; сохранить данный файл с другим именем (например, E <N>.dat);

9.5. набрать *save.exe* [Enter];

9.6. указать имя измененного в п.9.4 файла исходных данных, [Enter] (автоматически будет создан файл с этим именем и расширением .out с результатами канальной трассировки при использовании второго способа устранения ориентированного цикла).

10. Показать преподавателю полученные Вами на ЭВМ результаты канальной трассировки.

11. Проанализировать результаты работы и сформулировать выводы.

**Пример.**

Пусть порядковый номер студента в списке группы равен 16. Тогда номер варианта задания  $N = 16$ , и расположение контактов (выводов логических элементов ВИС с указанием номеров цепей) на сторонах двухстороннего горизонтального канала ВИС изображено на рис. 3.30.

Построим расположение горизонтальных отрезков цепей без привязки их к магистральям (рис. 3.31), трафы горизонтальных и вертикальных ограничений (рис. 3.32 и 3.33).

Для устранения имеющегося ориентированного цикла с вершинами 1, 3, 7 согласно первому способу цепь 1 представляется двумя горизонтальными отрезками 1' и 1". Полученный граф вертикальных ограничений без цикла изображен на рис. 3.34, обобщенный граф - на рис. 3.35. По алгоритму трассировки имеем:  $V^{(1)} = [x_1, x_4]$ ,  $V^{(2)} = [x_3, x_2]$ ,  $V^{(3)} = [x_7, x_8]$ ,  $V^{(4)} = [x_1]$ ,  $V^{(5)} = [x_5, x_6]$ .

Результаты канальной трассировки при первом способе устранения цикла приведены на рис.3.36.

Согласно второму способу устранить ориентированный цикл можно, меняя местами выводы 5 и 1 на нижней стороне канала. В этом случае получим расположение горизонтальных отрезков цепей без

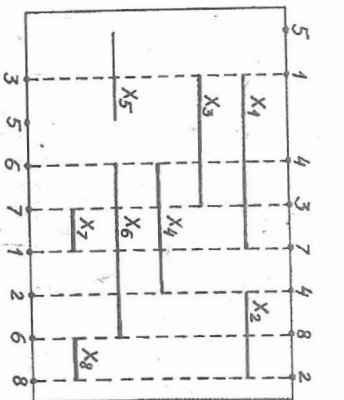


Рис. 3.31

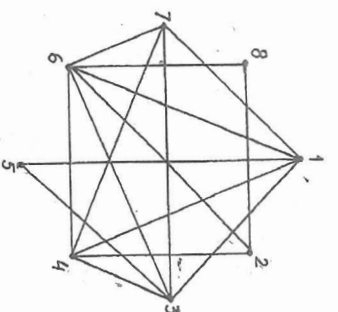


Рис. 3.32

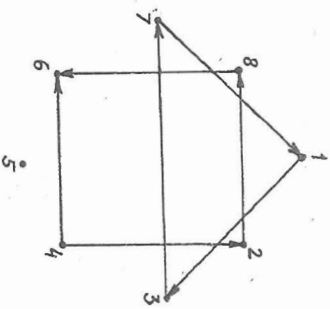


Рис. 3.33

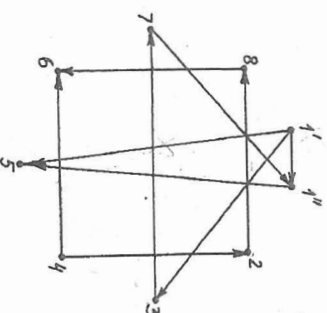


Рис. 3.34

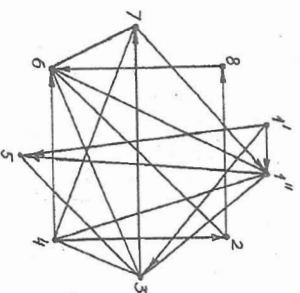


Рис. 3.35

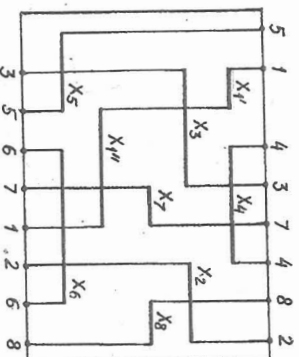


Рис. 3.36

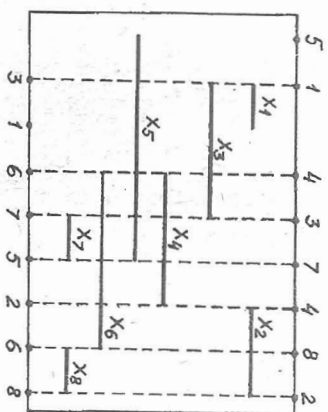


Рис. 3.37

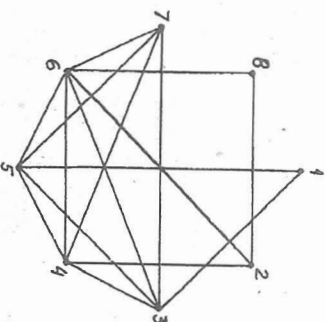


Рис. 3.38

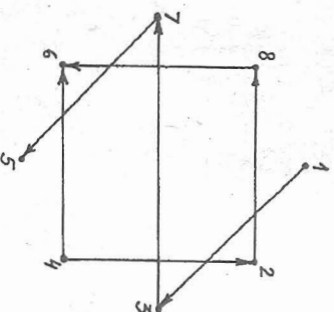


Рис. 3.39

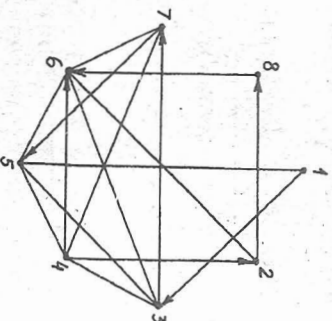


Рис. 3.40

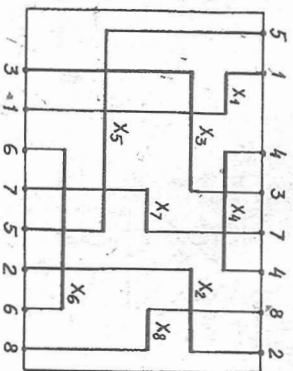


Рис. 3.41

привязки их к магистральям (рис. 3.37), графы горизонтальных ограничений (рис. 3.38), вертикальных ограничений без цикла (рис. 3.39) и обобщенный граф (рис. 3.40). По алгоритму канальной трассировки имеем:  $V^{(1)} = [x_1, x_4]$ ,  $V^{(2)} = [x_3, x_2]$ ,  $V^{(3)} = [x_7, x_8]$ ,  $V^{(4)} = [x_5]$ ,  $V^{(5)} = [x_6]$ . Результаты трассировки изображены на рис. 3.41.

### Содержание отчета

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Исходные данные (расположение выводов цепей БИС на двух сторонах горизонтального канала) согласно Вашему варианту задания.
4. Построенное Вами расположение горизонтальных отрезков цепей без привязки их к магистральям, графы горизонтальных и вертикальных ограничений.
5. Полученные после устранения первым способом найденного ориентированного цикла графы горизонтальных и вертикальных ограничений без цикла, обобщенный граф, а также результаты канальной трассировки в этом случае.
6. Построенные после устранения вторым способом ориентированного цикла расположение горизонтальных отрезков цепей без привязки их к магистральям, графы горизонтальных и вертикальных ограничений, обобщенный граф и результаты канальной трассировки.
7. Полученные на ЭВМ результаты канальной трассировки для двух способов устранения ориентированного цикла.
8. Анализ результатов и выводы.

### Контрольные вопросы и задачи

1. В чем состоит канальная трассировка и ее основная цель?
2. Какие существуют ограничения на расположение горизонтальных и вертикальных отрезков цепей?
3. Опишите способы устранения ориентированного цикла в графе вертикальных ограничений при их нарушении.
4. Объясните алгоритм канальной трассировки соединений в БИС.
5. Для заданного преподавателем расположения выводов цепей БИС проведите канальную трассировку.