

# Курс: Технологии компьютерного проектирования и оптимизации комплексных систем (ТКПОКС)

## Тема 1: Автоматизация конструкторского проектирования

- Автоматизированное проектирование. Основы САПР. Методы и средства автоматизированного проектирования вычислительных систем
- Методы постановки задач и алгоритмы автоматизированного проектирования средств вычислительных систем

Лектор: доцент кафедры КНИ Шумова Лариса Александровна  
shumova@ukr.net

# **Теоретические основы САПР.**

## **Типовой процесс проектирования**

- Проектирование – процесс создания технических решений.
- Создание – итеративный процесс синтеза и анализа.
- Автоматизированное проектирование – проектирование с использованием вспомогательных вычислительных средств.

### **Характерные признаки автоматизированного проектирования:**

- Участие человека как составной части системы;
- Наличие информационного поиска;
- Необходимые решения расчётных задач и графическое представление геометрических объектов;
- Получение законченной технологической документации;
- Сопровождение и контроль технической документации

# Терминология

- суть аббревиатуры **CAD** (Computer Aided Design);
- суть аббревиатуры **CAM** (Computer Aided Manufacturing)
- суть аббревиатуры **CAE** (Computer Aided Engineering)
- система автоматизированного проектирования **САПР**
- итерационный характер проектирования

# Классификация задач конструкторского проектирования

Применительно к этапам проектирования ЭС обычно выделяют следующие группы задач, решаемых последовательно:

- 1) Задачи системотехнического проектирования;
- 2) Задачи схемотехнического проектирования;
- 3) Задачи **конструкторского** проектирования;
- 4) Задачи технологического проектирования.

Задачи конструкторского проектирования делятся на две основные группы:

1. Определение геометрических параметров конструкции – **геометрическое проектирование.**
2. Синтезирование структуры (топологии) конструкции – **топологическое проектирование.**

# **Задачи и методы топологического проектирования**

**Топологическое проектирование** является наиболее сложным и ответственным этапом разработки конструкции ЭС. Оно позволяет определить топологическую структуру объекта с учетом всех необходимых функциональных связей между всеми функциональными узлами.

В качестве исходных данных при топологическом проектировании используются результаты решения задач как **схемотехнического**, так и **геометрического проектирования**. Результаты этого этапа во многом определяют функциональные (качественные и количественные) характеристики спроектированного устройства.

# Состав и взаимосвязь задач топологического проектирования



# Задачи конструкторского проектирования

Обычно задания компоновки рассматриваются как процесс принятия решений в определенных или неопределенных условиях, в результате выполнения которого части логической схемы располагаются в конструктивных элементах

$i$ -го уровня,

а эти элементы размещаются в конструктивных элементах

$(i+1)$ -го уровня и т.д.,

причем расположение выполняется с оптимизацией по выбранному критерию.

# Методы решения задач компоновки

Последовательный алгоритм, использующий матрицу смежности

Последовательный алгоритм, использующий матрицу цепей

Последовательно-итерационный алгоритм  
Генетические алгоритмы

# Критерии оптимизации компоновки

- минимум суммарной взвешенной длины соединений;
- минимум типов конструктивно законченных частей;
- плотность компоновки,
- минимум соединений между устройствами;
- простота диагностики и др.

Основным этапом при решении конструкторских заданий служит переход от неформальной постановки к формализованному заданию.

# Формализация задания

(способы представления схемы электрической принципиальной)

- Список цепей (связей)
- Матрица инцидентности (связности)
- Графовое представление

# Правило формирования списка цепей (связей)

Список цепей формируется в виде текстового файла с обязательным перечислением всех соединений следующего вида:

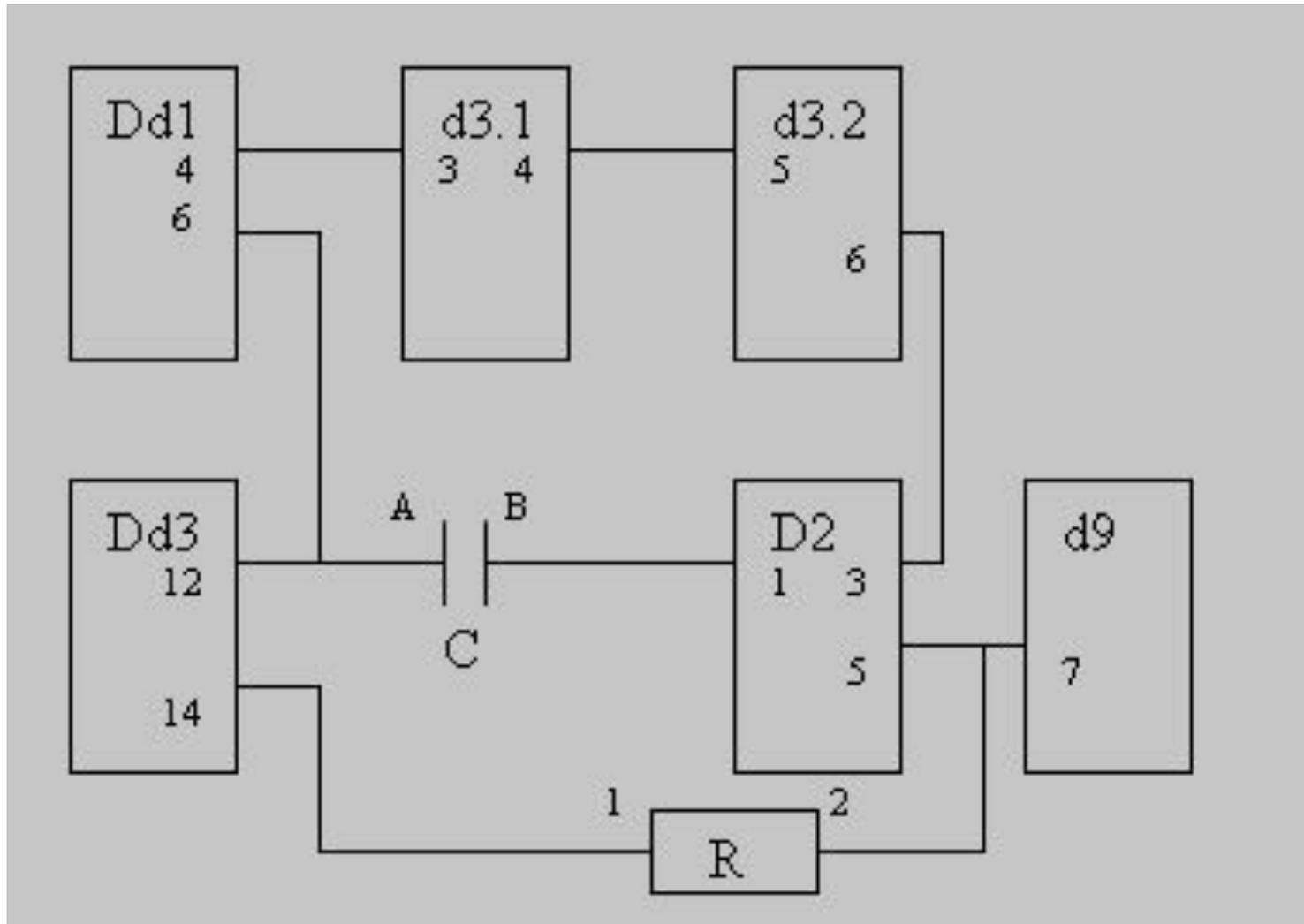
**<Название элемента> <Номер контакта> <Название элемента> <Номер контакта>...**

В итоге образуется специальный файл электрических соединений.

## **Задание компоновки**

1. Выбрать схему электрическую принципиальную
2. Провести формализацию и, используя два алгоритма (последовательно-групповой и алгоритм Штейнберга), провести размещение микросхем на печатной плате
3. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы об эффективности использованных алгоритмов

# Пример схемы



## Формирование списка связей

Dd1 4 d3 3

Dd1 6 Dd3 12 C A

Dd3 14 R 1

d3 4 d3 5

d3 6 D2 3

D2 1 C B

D2 5 d9 7 R 2

№ связи	Эле- мент	Кон- такт	Эле- мент	Кон- такт	Эле- мент	Кон- такт
S1	Dd1	4	d3	3		
S2	Dd1	6	Dd3	12	C	A
S3	Dd3	14	R	1		
S4	d3	4	d3	5		
S5	d3	6	D2	3		
S6	D2	1	C	B		
S7	D2	5	d9	7	R	2

### Правило:

- 1) 1 связь - 1 строка списка связей;
- 2) один элемент с контактом  $i$  встречается в списке только 1 раз

# Матрица инцидентности (связности)

<b>№ связи</b>	<b>Dd1</b>	<b>d3</b>	<b>Dd3</b>	<b>C</b>	<b>D2</b>	<b>d9</b>	<b>R</b>
<b>S1</b>	1	1					
<b>S2</b>	1		1	1			
<b>S3</b>			1				1
<b>S4</b>		1					
<b>S5</b>		1			1		
<b>S6</b>				1	1		
<b>S7</b>					1	1	1
<b>Σ</b>	2	3	2	2	3	1	2

## Правило:

Если элемент инцидентен связи, то в соответствующей ячейке матрицы – «1»

# Методы решения задач размещения

Последовательно-итерационный алгоритм размещения

Эвристический алгоритм, основанный на методе выделения «длинных» и «коротких» ребер

Последовательный алгоритм размещения однотипных элементов

Алгоритм, основанный на методе ветвей и границ

Алгоритм случайного поиска

Алгоритмы размещения соединений по слоям платы

# Последовательные алгоритмы

- Основаны на предположении, что для получения оптимального размещения необходимо в соседних позициях располагать элементы, максимально связаны друг с другом

- Оценку степени связности делают по одной из следующих формул:  
$$\Phi_i^{(l)} = \sum_{j \in J_{l-1}} c_{ij} \quad \text{или} \quad \Phi_i^{(l)} = 2 \sum_{j \in J_{l-1}} c_{ij} - \sum_{j=1}^n c_{ij}$$

где  $c_{ij}$  – коэффициент взвешенной связности элементов  $i$  и  $j$ ;

$J_{l-1}$  – множество индексов элементов, закрепленных на предыдущих  $l-1$  шагах;

$n$  – общее число размещенных элементов.

Если установочные размеры всех размещённых на плате элементов одинаковые и критерием оптимума является минимум суммарной взвешенной длины соединений, то

элемент  $r_i^{(l)}$  закрепляют в той позиции  $t_j^{(l)}$ :  
для которой значение целевой функции  $F_j^{(l)}$

минимально

$$F_j^{(l)} = \min_{t_f \in T \setminus T_{l-1}} \sum_{j \in J_{l-1}} c_{ij} d_{jf}$$

# Последовательно-групповой метод

1. Определение размеров матрицы посадочных мест: минимальная размерность –  $m * n$ , где  $m$ -количество мест в строке,  $n$ -количество мест в столбце; оптимальный размер –  $(2m-1) * (2n-1)$ .
  2. В центр матрицы посадочных мест помещается самый связный элемент.
  3. Следующий – наиболее связный с уже установленным.
  4. Установленные элементы объединяются в группу.
  5. Следующий - наиболее связный с группой.
- ❖ Условно считается, что размещаемые элементы одногабаритны и расстояние между элементами одинаково

# Итерационные алгоритмы

В случае минимизации суммарной взвешенной длины соединений формула для расчета изменения значения целевой функции при перестановке местами элементов  $r_i$  и  $r_j$ , закрепленных в позициях  $t_f$  и  $t_g$ , имеет вид:

$$\Delta F_{ij}(f, g) = \sum_{p=1}^k (c_{ip} - c_{jp})(d_{fh(p)} - d_{gh(p)})$$

где  $p$  и  $h(p)$  – порядковый номер и позиция закрепления неподвижного элемента  $r_p$ .

Если  $\Delta F_{ij}(f, g) > 0$ , то осуществляют перестановку  $r_i$  и  $r_j$ , что приводит к уменьшению целевой функции на , после чего делают поиск и перестановку следующей пары элементов и т.д.

# Алгоритм Штейнберга

## (алгоритм парных перестановок)

- Все элементы считаются условно одногабаритными
- Из всего множества элементов схемы выбирается подмножество, которое складывается из  $n$ -элементов не имеющих общих электрических цепей
- Строится матрица стоимости
- После анализа матрицы стоимости элементы переставляются на посадочные места соответственно критерию минимальной суммарной длины соединений
- Выбирается следующее подмножество  $n$ -независимых элементов и процедура повторяется до достижения минимальной суммарной длины связей или после завершения заданного количества итераций

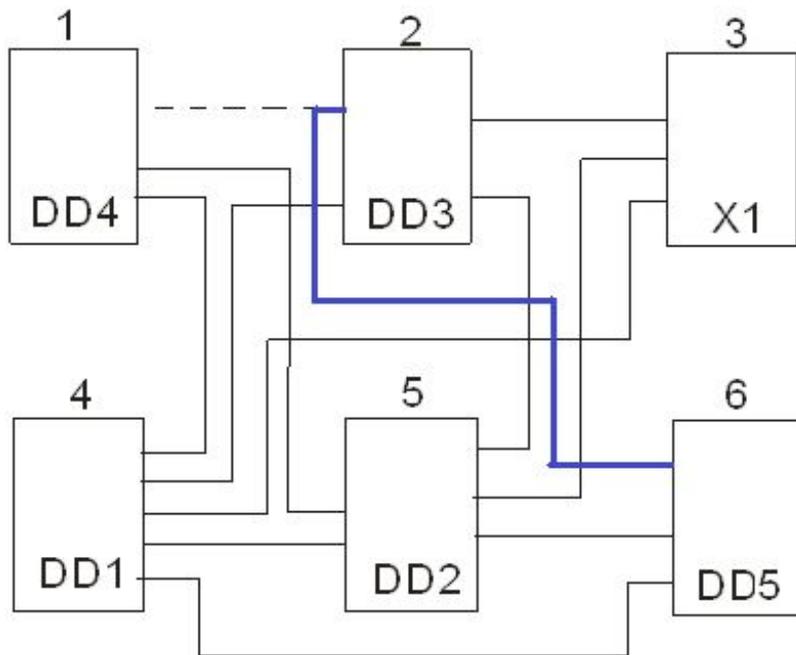
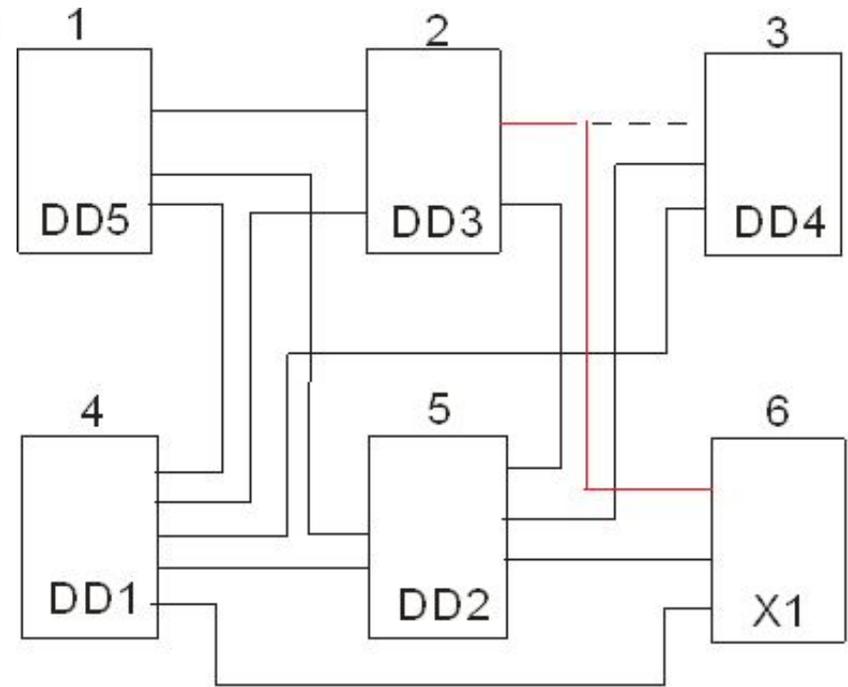
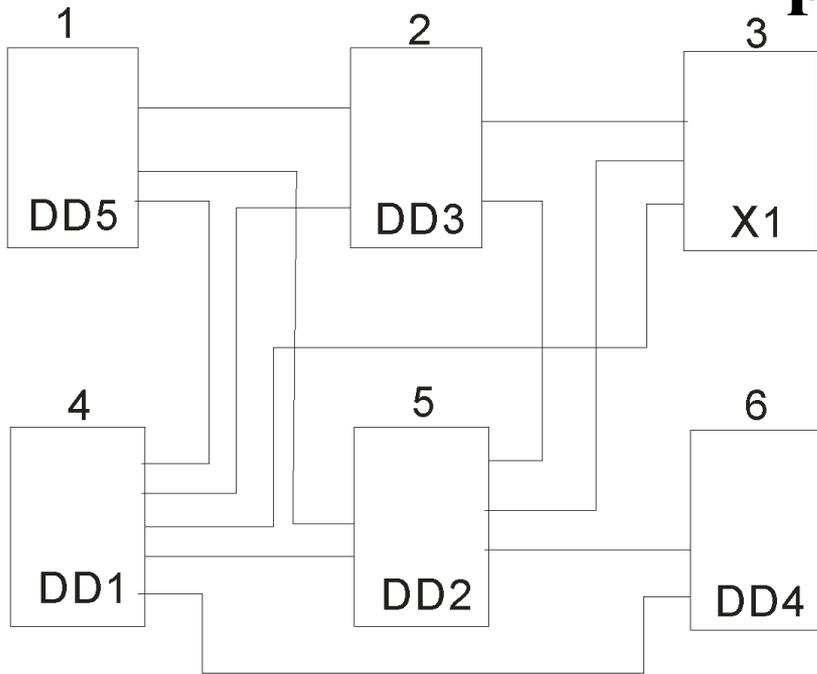
# Алгоритм Штейнберга

## (алгоритм парных перестановок)

Из всего множества элементов  $E$  выбирается подмножество  $E_k$ , состоящее из  $m$  элементов, не имеющих общих электрических цепей.

Пусть  $L$  — множество позиций, занятых элементами из  $E_k$ , тогда любой элемент из  $E_k$  можно последовательно перемещать на все позиции в  $L$ . Строится матрица стоимости  $A = [a_{ij}]$  размером  $m \times m$ , каждый элемент которой задает суммарную длину соединений элемента  $e \in E_k$  при условии установки его в позицию  $l_j$ . Элементы в  $E_k$  не связаны между собой, поэтому задача состоит в том, чтобы расставить  $m$  элементов в  $m$  посадочных мест, минимизируя ц.ф.

# Пример



## Матрица стоимости

№ посадочного места	1	3	6
<b>элемент</b>			
<b>DD5</b>	27	52	45
<b>X1</b>	27	52	45
<b>DD4</b>	21	46	29

# Методы решения задач трассировки

Алгоритмы формирования списка электрических соединений

Алгоритмы определения порядка проведения соединений

Волновой алгоритм

Алгоритм встречной волны

Волновой алгоритм соединения комплексов

Алгоритм минимального отклонения от соединительной линии

Лучевой алгоритм

Волновой алгоритм трассировки многослойных печатных плат

Алгоритм Хейса

Принципы канальной трассировки

# Программные средства автоматизированной трассировки

- провести обзор программ для проектирования печатных плат;
- выбрать программу для решения задачи автоматизированной трассировки в задании 1 контрольной работы

*(реком. Sprint Layout)*