ОСОБЕННОСТИ САПР

- *Возможность комплексного проектирования РЭС, т.е. возможность тесного взаимодействие не только отдельных процедур, но и этапов проектирования. Например, схемотехнического и конструкторского этапов .*

- *Интерактивный режим проектирования, при котором осуществляется непрерывный процесс диалога «человек — машина».*

- *Возможность имитационного моделирования в условиях работы, близких к реальным. Имитационное моделирование дает возможность предвидеть реакцию проектируемого объекта на самые различные возмущения, позволяет провести испытания различных вариантов решения и выбрать лучший.*

- *Значительное усложнение программного и информационного обеспечения. Создание новых языков, банков данных, своих систем принятия решений, программ проектирования*

- *Значительное усложнение технических средств. Требуются ЭВМ высокой производительности, многомашинные комплексы, разветвленная система периферийных устройств.*

Отличие рабочих станций от персональных компьютеров

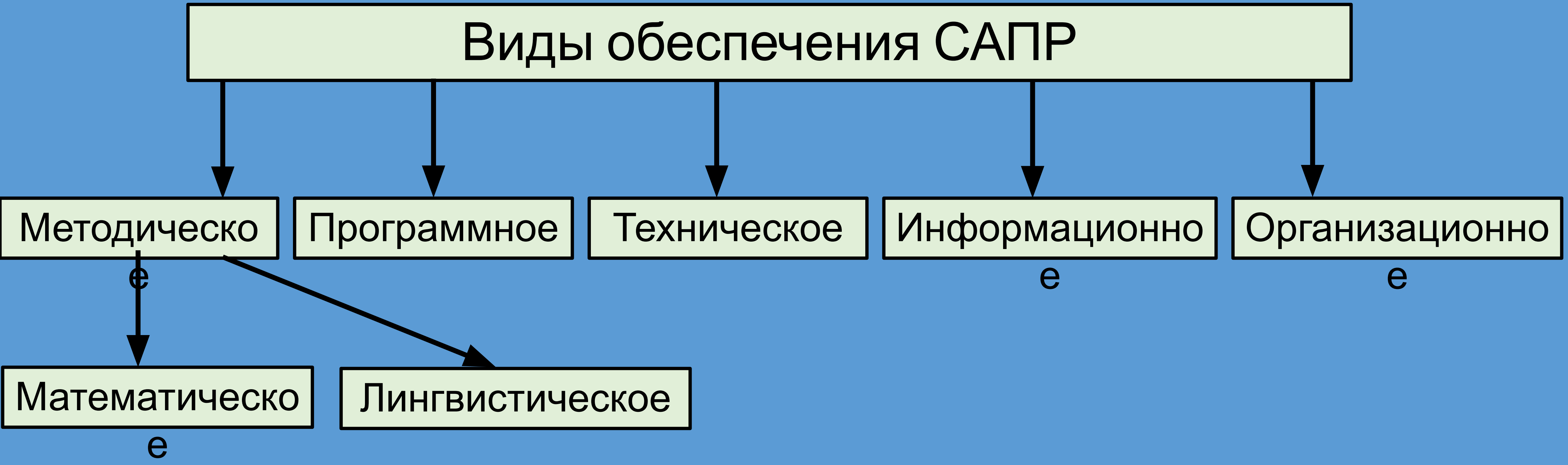
- *В РС используется RISC- процессор, т.е. процессор с сокращенным наборам команд и повышенным быстродействием*

- *Все современные РС имеют большой объем ОЗУ и работают под управлением сложных многозадачных операционных систем*

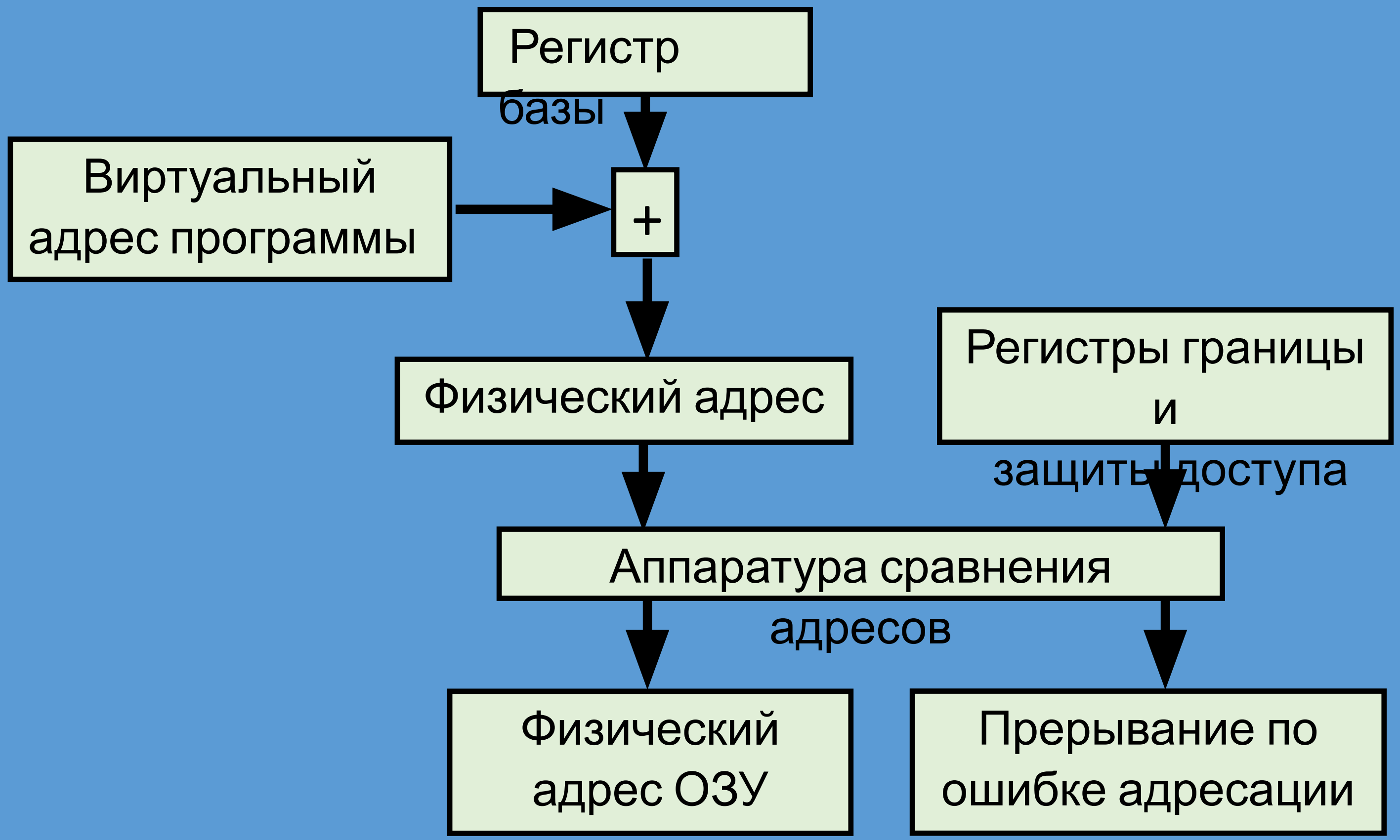
- РС имеет мощные графические процессоры с поддержкой высокоскоростной и высококачественной графики

- *В базовый комплект РС встраивается аппаратура высокоскоростной связи со стандартной ЛВС – сетевой адаптер*

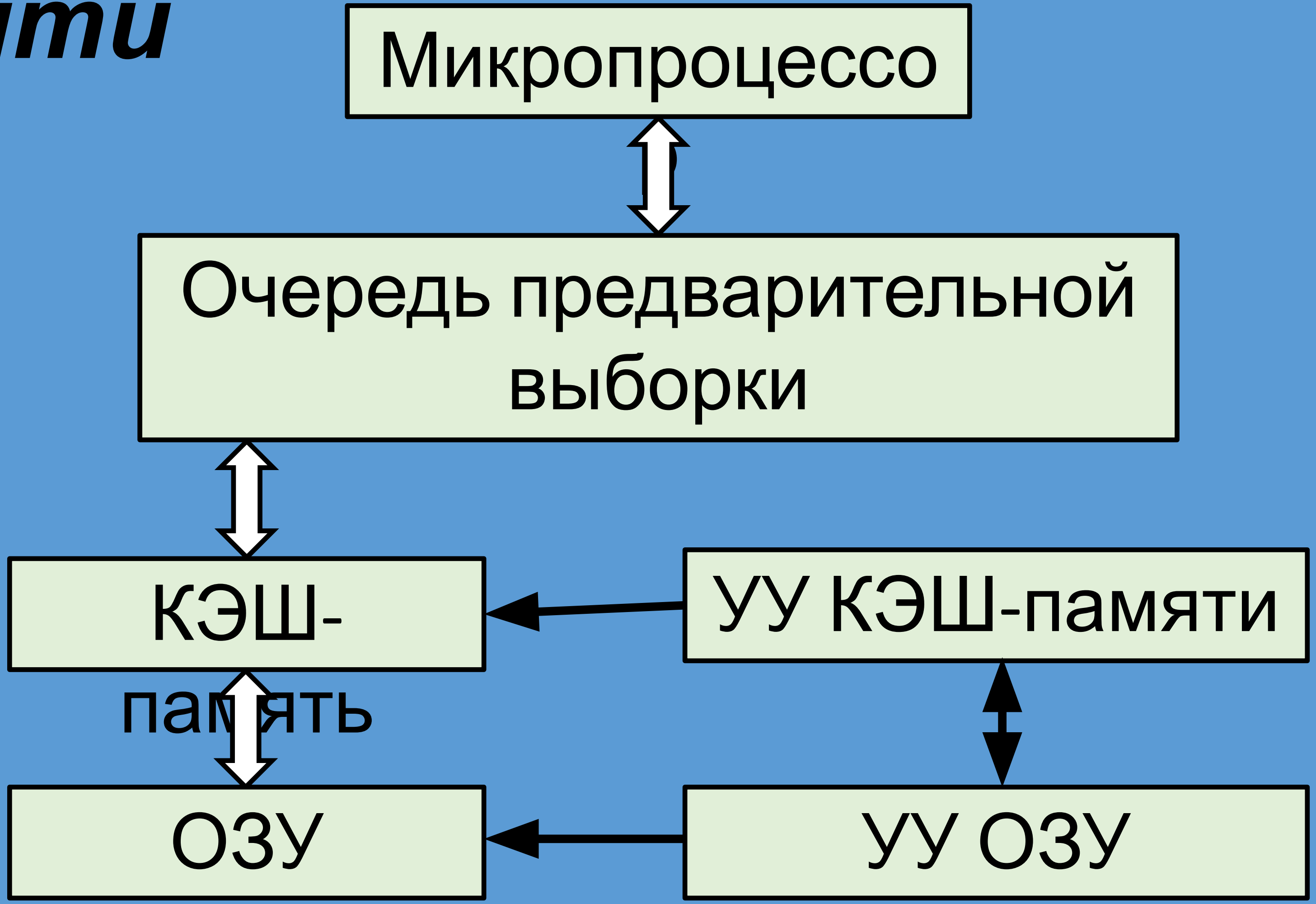
Структурная схема САПР



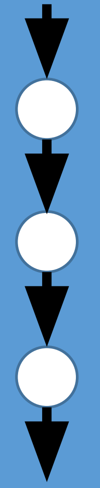
Функциональная схема ОЗУ

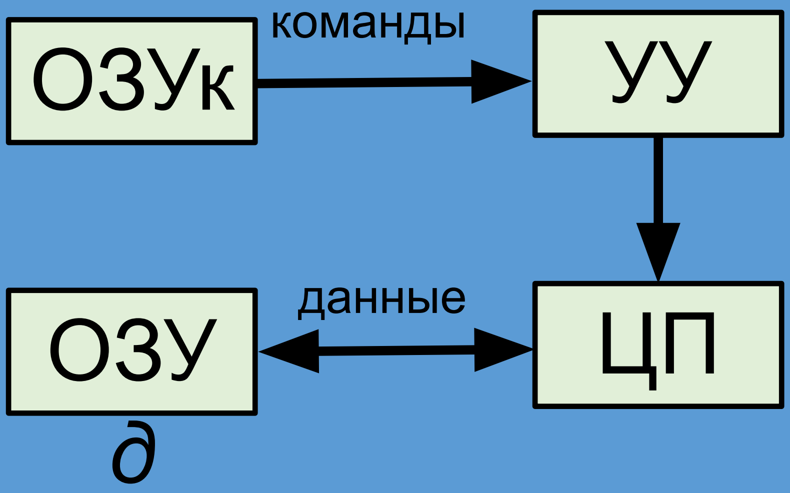


Структурная схема оперативной памяти



Фон - неймановская архитектура ЭВМ





выполняемые операторы

потоки команд и данных

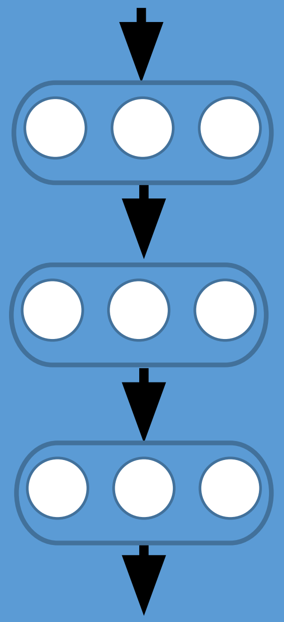
УУ устройство управления

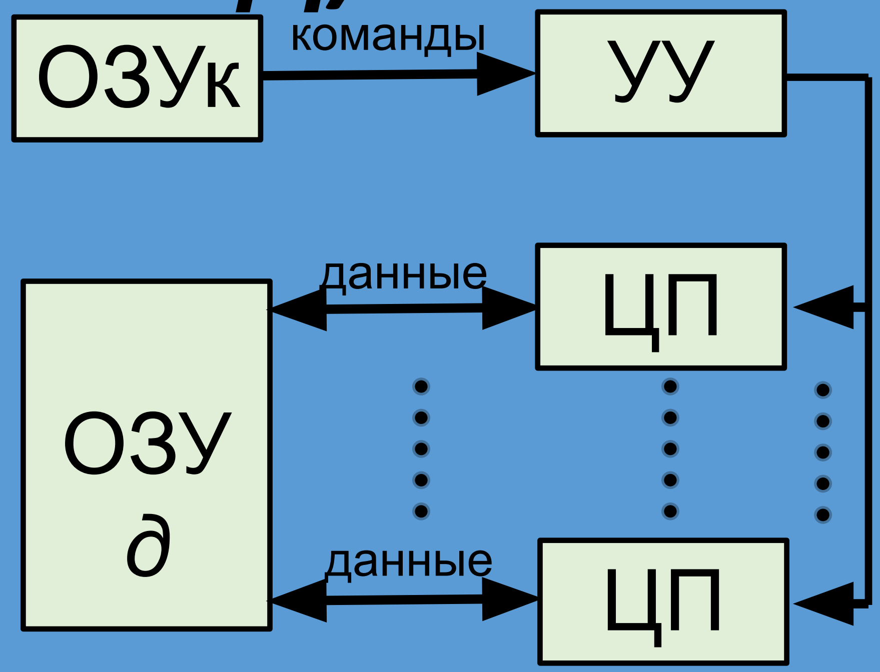
ОЗУк ОЗУ команд

ОЗУ*д* ОЗУ данных

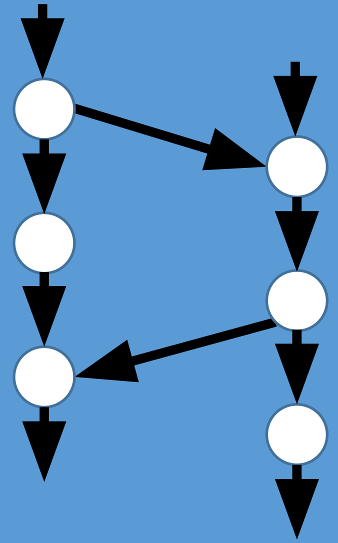
ЦП центральный процессор

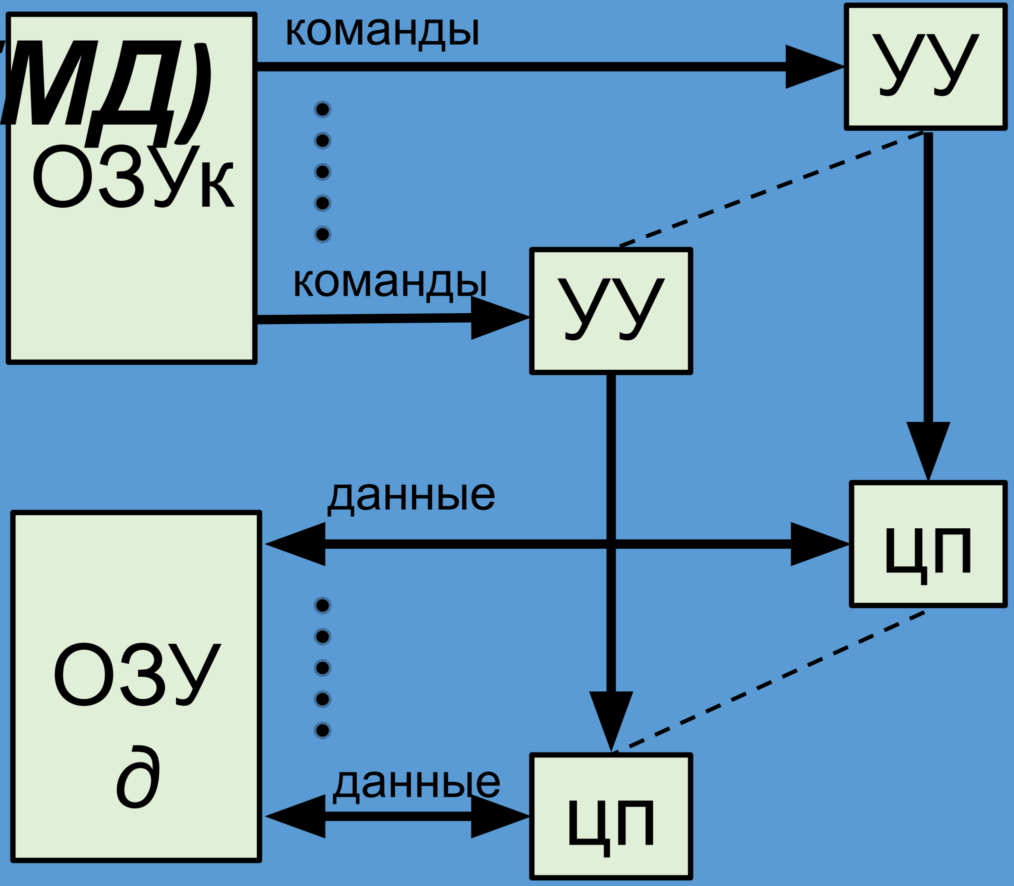
ЭВМ с одиночным потоком команд и с множественными потоками данных (ОКМД)





ЭВМ с множественными потоками команд и
с множественными потоками данных (МКМД)





Суперкомпьютерный комплекс "Ломоносов"

Суперкомпьютер «Ломоносов», установленный в Московском университете в 2009 году, относится к уникальным системам высшего диапазона производительности. В настоящее время он содержит 6654 вычислительных узла, более 94000 процессорных ядер, обладает пиковой производительностью 1,37 Пфлоп/с. Реальная производительность системы на тесте Linpack равна 674 Тфлоп/с, что позволило ему занять в июне 2011 года 13–ое место в списке Top500 самых мощных компьютеров мира.

Периферийное оборудование САПР

Периферийное оборудование *ЭВМ – это совокупность технических и программных средств, обеспечивающих взаимодействие ЭВМ с пользователем и внешней средой, а также хранение , подготовку и преобразование информации к виду, удобному для ввода – вывода, который*

По программному обслуживанию периферийные устройства САПР делятся на два класса ***растровые*** *и* ***координатные*** *(векторные).*

В ***растровых*** *устройствах выводится мозаичный рисунок из отдельных точек – пикселей или ПЭЛов по типу телевизионной развертки. При этом осуществляется последовательный перебор элементов мозаики и выделение пикселей, составляющих изображение. Время вывода постоянно, не зависит от сложности рисунка и определяется только числом элементов и скоростью их*

При ***векторном*** *способе осуществляется вычерчивание линий, составляющих изображение. Эти линии получаются в результате интерполяции графической информации, т.е. реальный рисунок совпадает с выводным в некоторых точках. Чем больше точек, тем точнее рисунок.*

Все периферийные устройства делятся на три

1. Средства ввода – вывода с машинных носителей:
   - ❖ накопители на магнитных дисках;
   - ❖ накопители на магнитных лентах (стримеры)
2. Средства ввода – вывода с документов:

❖принтеры;

❖графопостроители;

❖сканеры;

❖планшеты и др.

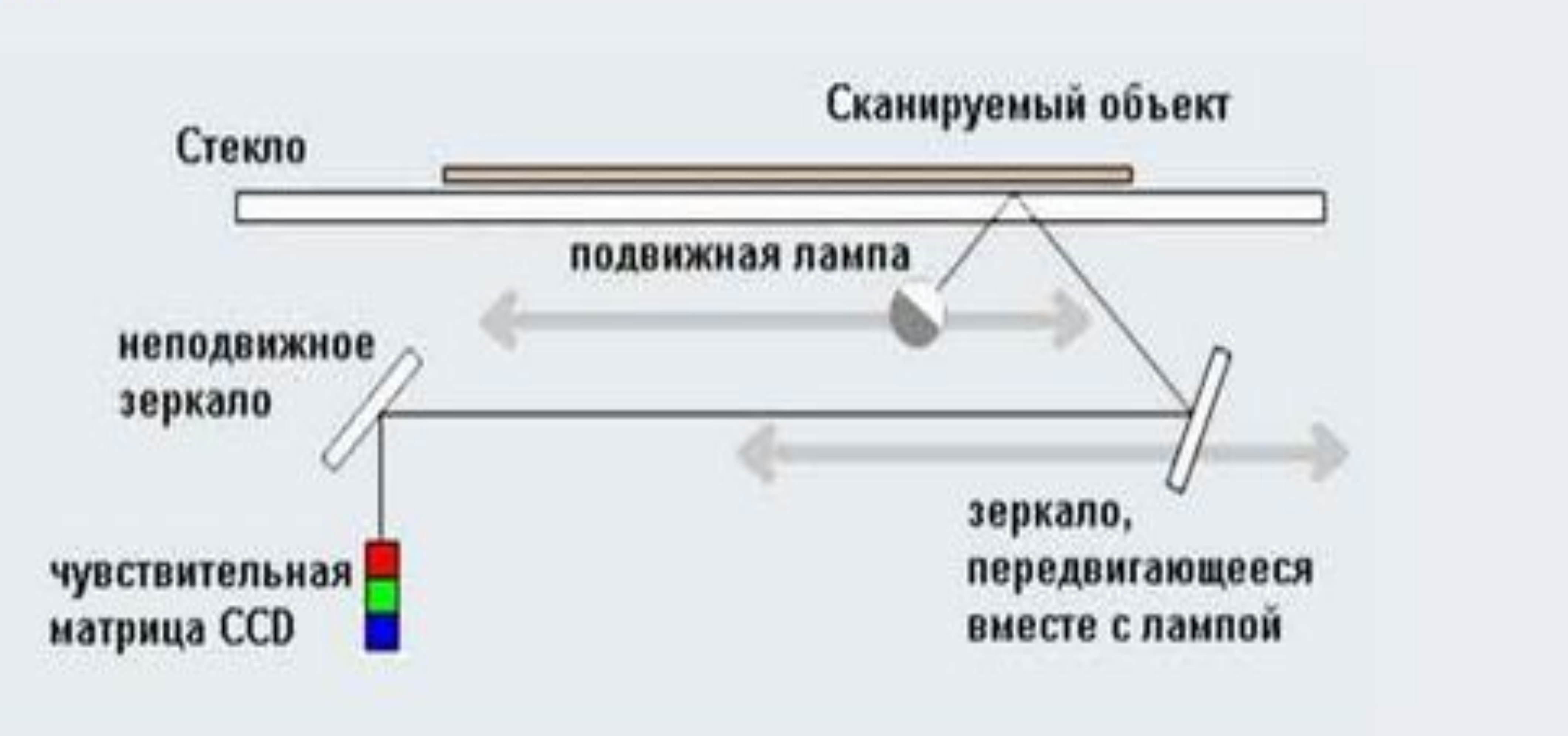
3. Средства непосредственного взаимодействия с ЭВМ:
   - ❖ устройства отображения алфавитно – цифровой и графической информации (дисплеи, проекционные системы и др.);
   - ❖ акустические устройства ввода – вывода информации;
   - ❖ устройства связи с реальными объектами (датчики, исполнительные устройства);
   - ❖ средства ручного ввода информации(алфавитно - цифровая клавиатура, различные планшеты и манипуляторы (мышь, джойстик и др.)

Современный стример с картриджем к нему

Сканеры

Сканером называется устройство, позволяющее вводить в компьютер в графическом виде текст, рисунки, слайды, фотографии и др.

Принцип работы сканера с ПЗС (CCD)-технологией



Принцип работы сканера с КДИ (CIS)-технологией

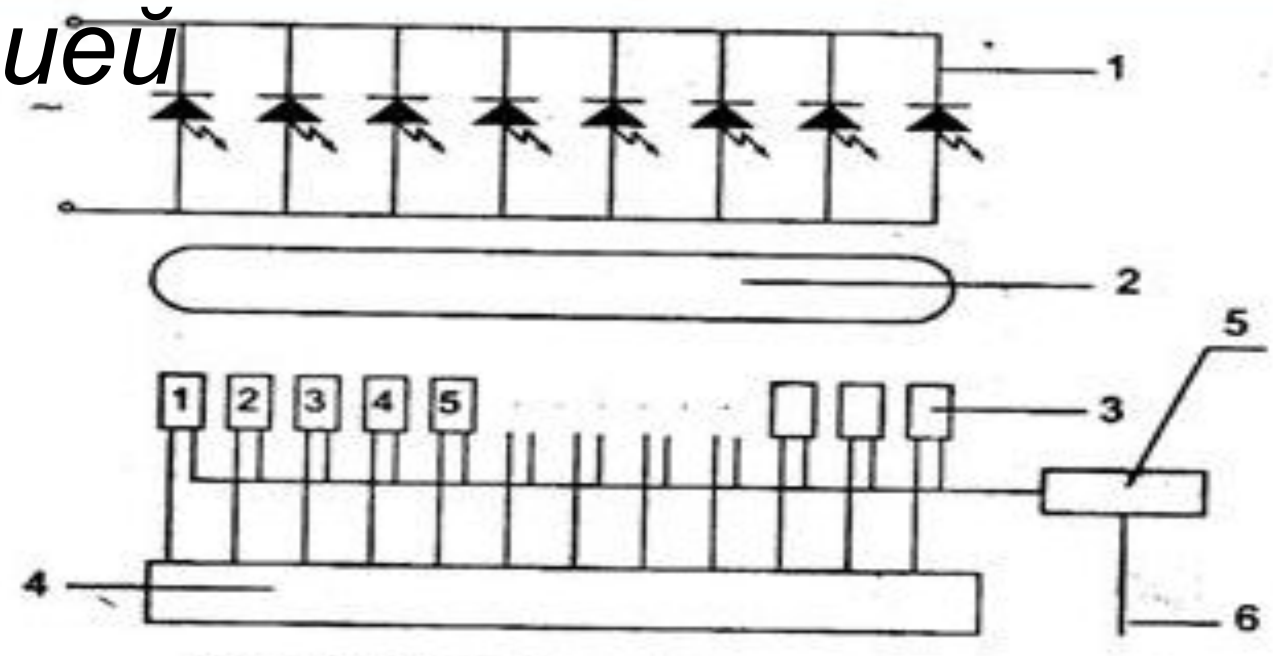


Рис. 2.19. Устройство сканирующей головки:
1 — набор светодиодов; 2 — линзы; 3 — фотоэлементы;
4 — регистр сдвига; 5 — видеоусилитель; 6 — выход (АЦП)

Сравнительная характеристика ПЗС и КДИ сканеров

Достоинства КДИ сканеров

- ***Меньшие габариты.*** *Сканеры, использующие технологию КДИ, имеют меньшие размеры и вес, чем сканеры на основе ПЗС.*

- ***Меньшая стоимость.*** *Вместо объектива, зеркал, призмы и самого фотоэлемента в этих сканерах используется только КДИ-линейка, что позволяет значительно снизить стоимость сканеров такого типа.*

- ***Меньшая потребляемая мощность.*** *Это достигается за счет применения светодиодов вместо лампы с холодным катодом. Если для ПЗС-сканера нормальная потребляемая мощность 12 Вт, то для КДИ-сканера — 2,5 Вт*

- ***Работа в экстремальных условиях.*** *КДИ-сканеры гораздо менее чувствительны к внешним условиям.*

Достоинства ПЗС сканеров

- ***Лучшая глубина резкости.*** *Глубина резкости КДИ-сканеров ±0,3 мм, тогда как для сканеров с ПЗС она равна ±3 мм. Это означает, что трехмерные предметы, находящиеся на расстоянии 3 мм от общего уровня, будут нормально отсканированы ПЗС-сканером, а изображение, полученное КДИ-сканером, будет нерезким и размытым.*

-***Дольше срок службы.*** *Сканер на основе ПЗС обеспечивает стабильное и неизменное качество в течение 10 000 часов работы, тогда как у КДИ-сканеров после 500 часов работы происходит падение яркости на величину до 30%.*

-***Лучшая чувствительность к оттенкам.*** *ПЗС-сканеры различают уровни оттенков с погрешностью ±20%, в то время как КДИсканеры — ±40%. Соответственно, передача деталей у ПЗС-сканеров будет значительно лучше.*

-Меньшая чувствительность к посторонней засветке, так как у *ПЗС-сканеров короче светочувствительная матрица*

Принтеры

ТИП	Достоинст	Недостатк и
Матричный	✔ Можно печатать сразу несколько ✔ Не требовательны в эксплуатации и могут печатать на поверхности любой бумаги ✔ Низкая себестоимость печати одной копии	▪ Медленная и шумная работа ▪ Плохое качество печати
Струйный	✔ Относительно невысокая стоимость ✔ Возможность печати цветных изображений и сверхкачественной фотопечати ✔ Относительно тихая работа ✔ Низкое потребление энергии	▪ Дороговизна расходных материалов (картриджей) ▪ Высокая себестоимость одной копии

Тип	Достоинства	Недостатки
Лазерный	✔ Высокая скорость печати ✔ Большой объем печати ✔ Низкий уровень шума ✔ Стойкость напечатанных копий к воздействию света и воды ✔ Низкая себестоимость одной копии	▪ Высокая цена ▪ Незначительное излучение

Плоттер

Плоттеры – устройства вывода информации из ПК, выполняющие преобразование и запись графических данных на соответствующий носитель

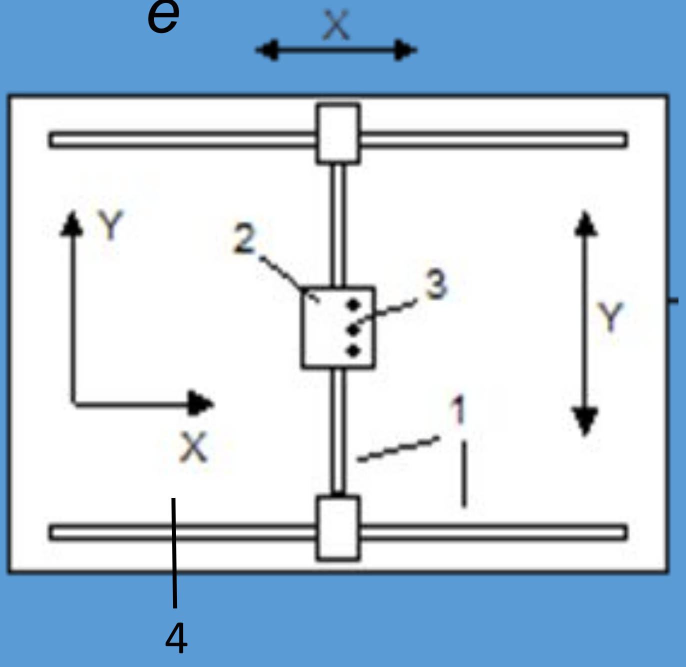
В качестве носителей обычно используется бумага (писчая, чертежная, карто-графическая), картон, пленки, кальки и др.

Плоттеры применяются в системах автоматического проектирования с соот-ветствующими графическими программами (CAD) и языками взаимодействия системного процессора с плоттерами, содержащими инструкции по перемещению пе-ра из одной точки в другую, поднятию и опусканию пера и т.д.

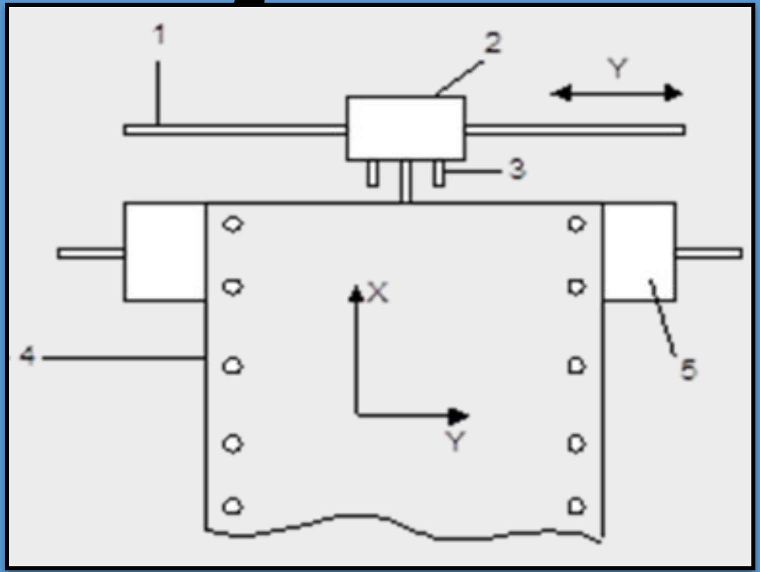
Плоттеры используют несколько форматов бумаги A0-A4. Чем больше размер бумаги, тем дороже плоттер. Поэтому различают крупноформатные (A0-A1), среднеформатные (A1-A2) и малоформатные (A3-A4) плоттеры.

По конструкции плоттеры подразделяются на:

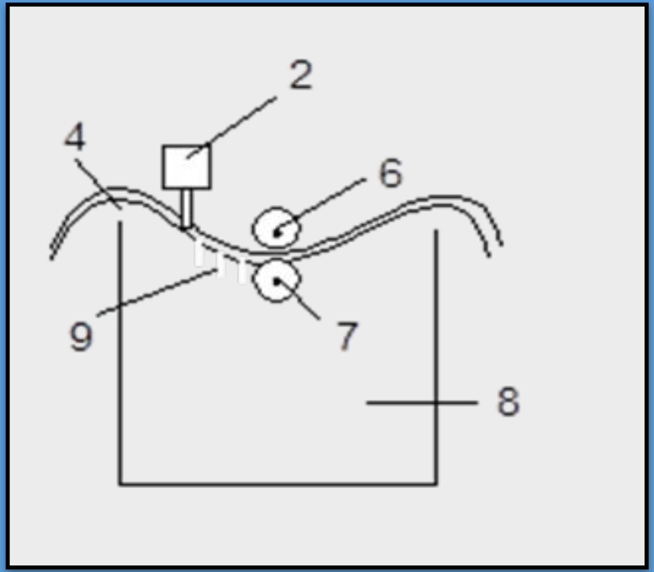
планшетные



барабанные



роликовы



1 – направляющие; 2 – пишущий узел (каретка); 3 – перья; 4 – бумага; 5 – барабан; 6 – прижимной ролик;

7 – падающий ролик; 8 – вакуум; 9 – вакуумные отверстия (присоски).

Барабанный плоттер

Планшетный плоттер

В зависимости от принципа образования графической информации (ГИ) различают векторные и растровые плоттеры.

В векторных перьевых плоттерах ГИ формируется как совокупность отрезков прямых линий (интерполяция). При построения изображений используются перьевые или шариковые рапидографы, карандаши , фломастеры.

Растровые плоттеры унаследовали особенности конструкций принтеров. Они обеспечивают изображение путем использования построчного или постраничного вывода элементов этого изображения на носитель информации.

По способу печати растровые плоттеры делятся на:

струйные;

лазерные;

светодиодные;

фотоплоттеры.

Основные технические характеристики плоттера

- *тип плоттера (планшетный, барабанный, роликовый);*
- *количество пишущих элементов (4, 6, 8, 10);*
- *максимальный размер рабочего поля, в мм (210×970, 297 × 420, 432 × 594 и т.д.);*
- *точность позиционирования, в мм (±0.1, ±0.2, ±0.3 мм);*
- *емкость буферной памяти, в Кбайтах (например, 1, 2, 18, 32 …);*
- *скорость черчения, в мм/с (например, 150, 250, 400, 500);*
- *масса плоттера, в кг;*
- *потребляемая мощность*

Лингвистическое обеспечение САПР

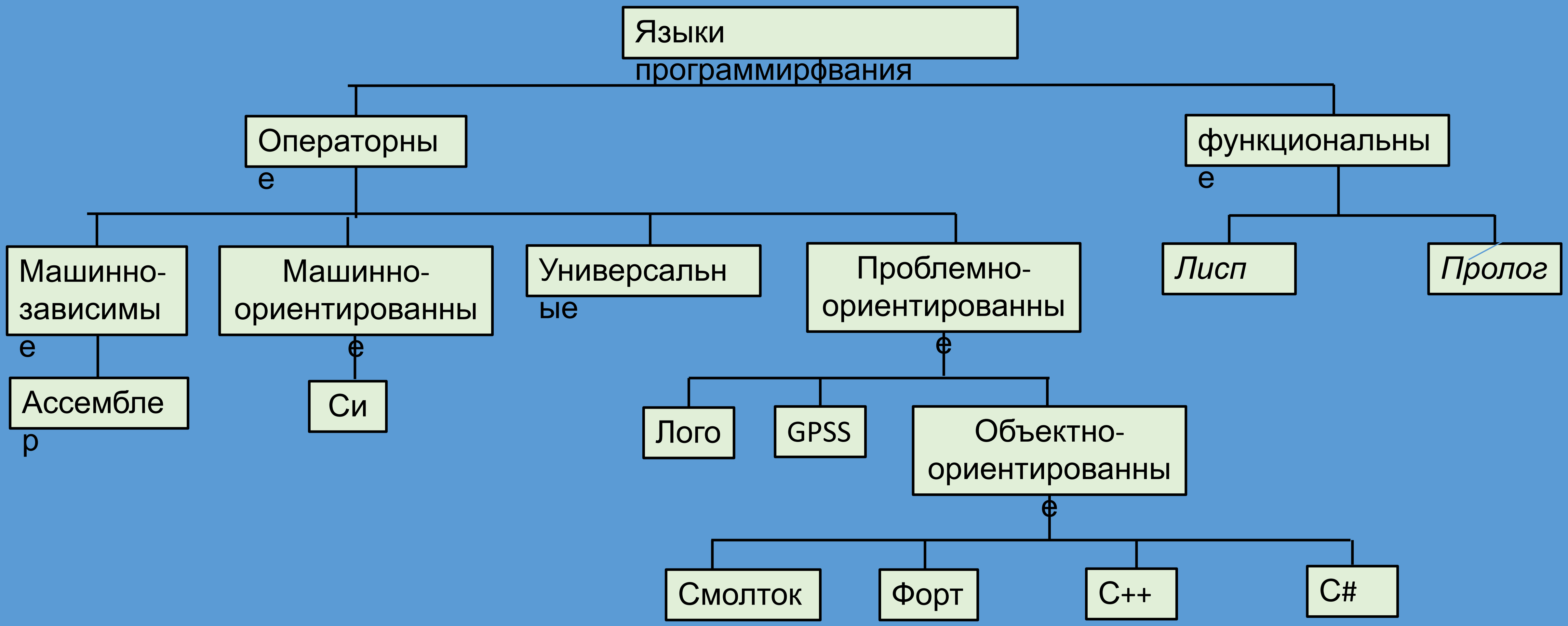
Лингвистическое обеспечение САПР – это совокупность языков, используемых в процессе разработки и эксплуатации САПР.

Лингвистическое обеспечение САПР состоит из языков программирования, проектирования и управления.

Языки программирования *служат для разработки и редактирования системного и программного обеспечения САПР. Они базируются на алгоритмических языках.*

Языки проектирования *– это проблемно – ориентированные , служащие для обмена информации об объектах и процессе проектирования между пользователем и ЭВМ.*

Языки управления *служат для создания команд, управляющих работой САПР.*


Языки программирования
Операторные
функциональные
Машинно-зависимые
Машинно-ориентированные
Универсальные
Проблемно-ориентированные
Лисп
Пролог
Ассемблер
Си
Лого
GPSS
Объектно-ориентированные
Смолток
Форт
C++
C#

***Ассемблер**, большая часть включена в Си, используется в основном для программирования микропроцессоров.*

*В языке **С** объединены достоинства языка низкого уровня – ассемблера и мощных выразительных средств языков высокого уровня. Разработан в 1972 г. Он послужил главным инструментом для создания ОС UNIX и MS DOS.*

*Универсальные языки: бейсик, паскаль, Fortran. Язык **Фортран** является первым универсальным языком (1954). Наиболее эффективен при численных расчетах, прост*

по структуре и эффективен при выполнении программ. Наиболее популярная версия Фортран 77.

***Паскаль** – вначале создавался для учебных целей. Сейчас используется для разработки системных и прикладных программ для ПЭВМ.*

***Бэйсик** – основное достоинство – простота, превосходное средство для начинающих программистов. Он работает в режиме интерпретации. Он принят во многих учебных заведений, как базовый при начальном изучении программирования.*

Проблемно-ориентированные языки

Лого – реализован на принципе интерпретации, используется для создания сложных электронных игрушек. Разрабатывался в Америке и Японии. Игрушки с интеллектуальным наклонностями (робототехника)

GPSS исследует класс моделей массового обслуживания (для работы с очередями, выборки данных).

C# (C sharp) – имеет более компактный код. Недостаток объектно-ориентированных языков – замедленное выполнение программ из-за их динамических связей и сложность трансляторов. В C# эта проблема решается.

Смолток предназначен для решения нечисловых задач при построении систем искусственного интеллекта.

Форт – объектно-ориентированный язык, имеет высокое быстродействие и компактный машинный код.

Для разработки искусственного интеллекта используются функциональные языки Пролог и Лисп.

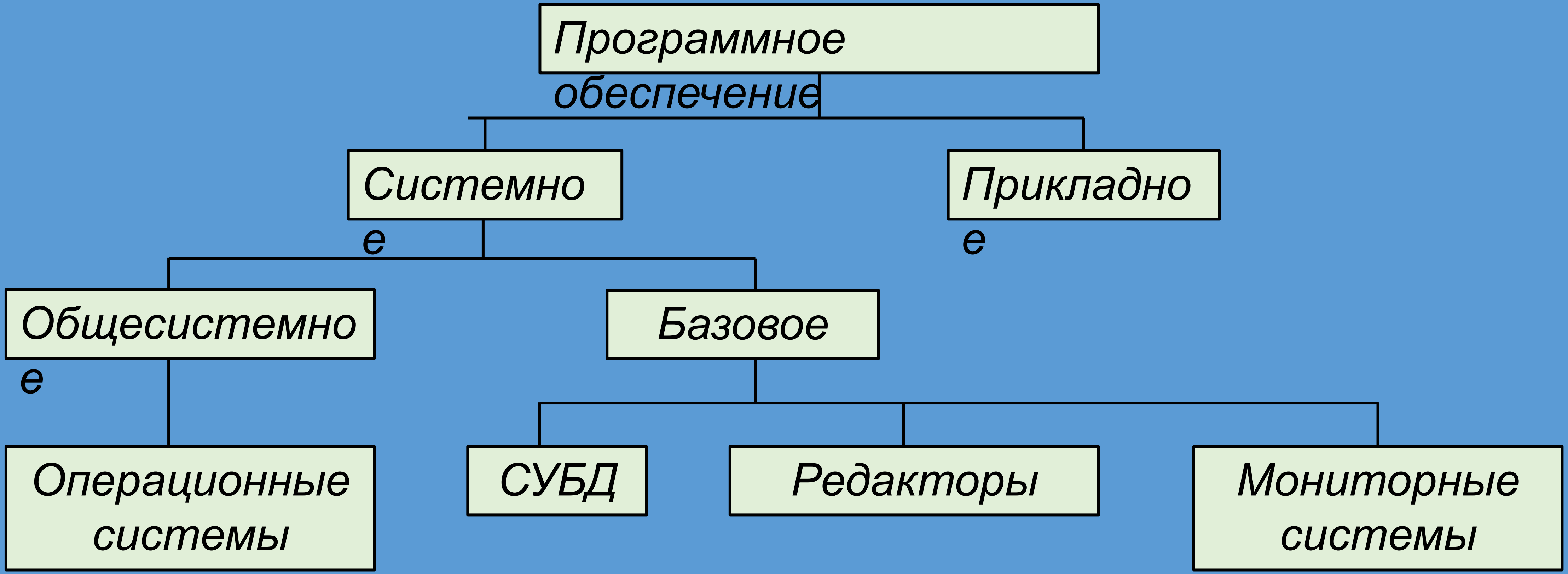
Эти языки ориентированы на обработку символьной информации, требуют больших массивов данных.

Лисп применяется для программирования интеллектуальных задач на естественном языке (управление голосом).

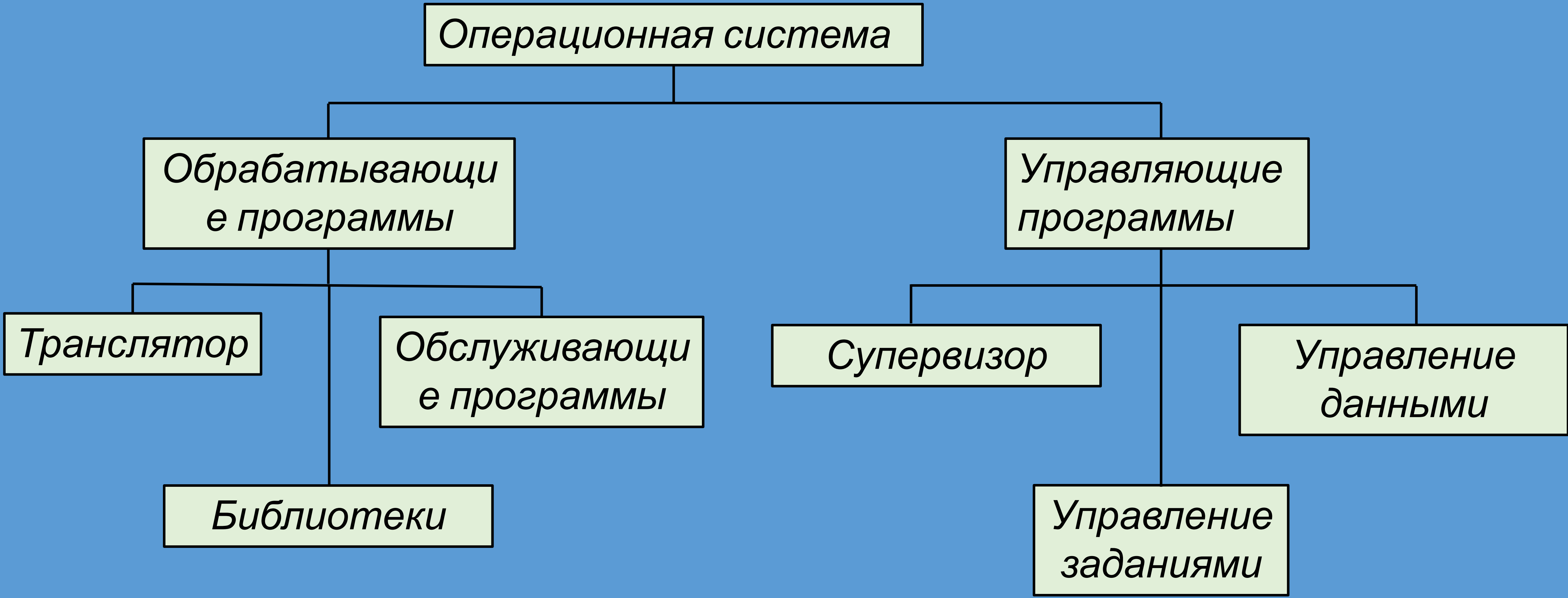
Пролог приобрел большую популярность в связи с созданием в Японии вычислительных систем 5-ого поколения.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ (ПО) САПР

ПО – это совокупность программ, процедур и правил, написанных на том или ином языке, предназначенных для использования в САПР



СТРУКТУРА ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ



ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Прикладное ПО – это пакеты прикладных программ для выполнения различных проектных процедур (схемотехническое проектирование, конструирование и электродинамическое моделирование).

***DesingLab**, разработанная корпорацией MicroSim . Основу системы составляют следующие модули:*

- *графический редактор принципиальных схем – Schematics. Он же является управляющей оболочкой системы;*
- *моделирование аналоговых-цифровых устройств Pspice A/D;*
- *редактор входных сигналов (аналоговых и цифровых);*
- *библиотека диодов, биполярных и полевых и мощных МОП транзисторов, ОУ, компараторов напряжения, регуляторов и стабилизаторов напряжения.*

***ICAP**, которая может работать с измерительными устройствами и получать конструкторскую документацию.*

***Super-Compact**, в которой предусмотрено моделирования СВЧ-устройств.*

Serenade, Super-Spice, Microware Explorer *обеспечивают моделирование и оптимизацию СВЧ и оптоэлектронных устройств в, в том числе и во временной области, электромагнитных полей. Имеются версии ориентированные на Windows 95.*

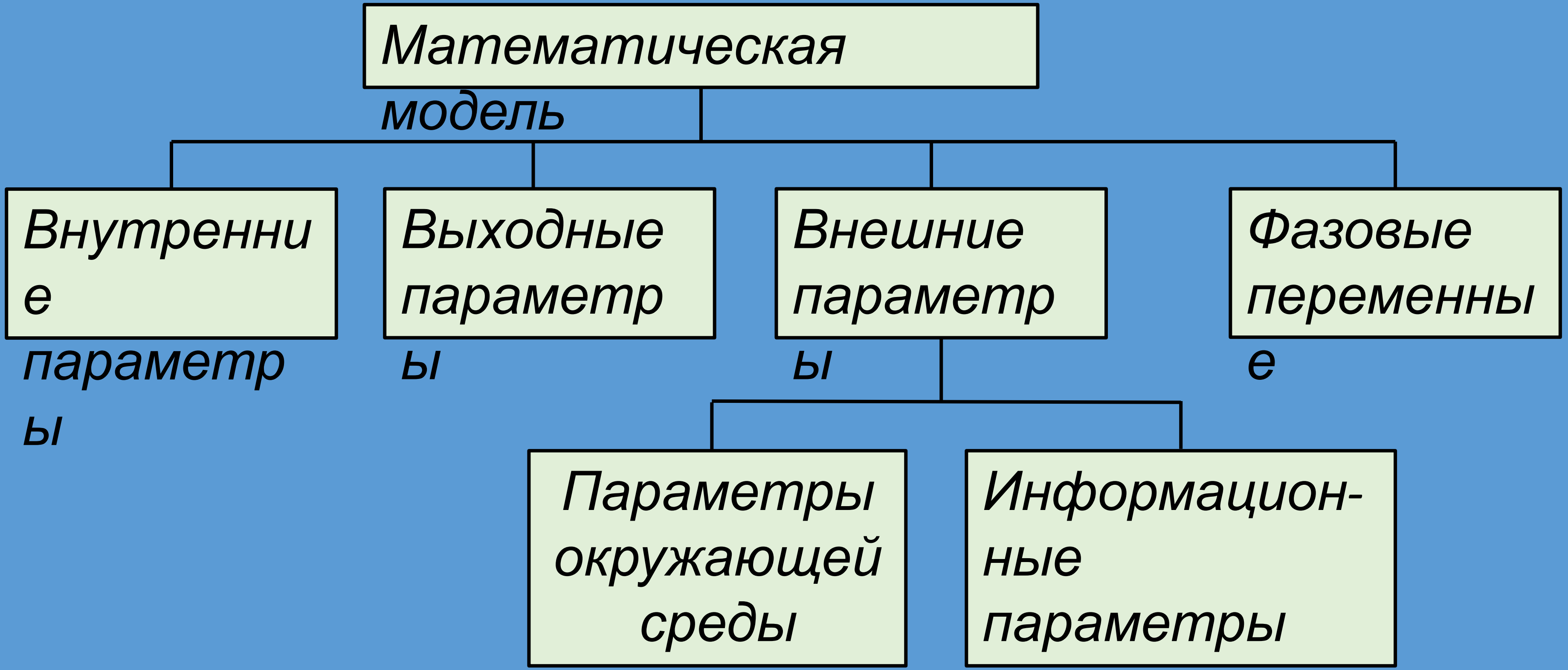
Система ***Micro-Cap*** *предназначена для анализа и моделирования аналоговых и анлого-цифровых устройств (расчет переходных процессов, АЧХ, спектральный анализ и др.). Предусмотрена возможность наращивания библиотеки компонентов и подключение других программных продуктов (например, Pspise).*

OrCAD *позволяет решать задачи схемотехнического и конструкторского проектирования.*

Основной конкурент OrCAD – это пакет P-CAD. Пакет имеет открытую архитектуру, он позволяет проектировать печатные платы до 500 элементов и 2000 связей.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

ММ технического объекта – это совокупность математических объектов (чисел, переменных, множеств, графиков, матриц и др.) и отношений между ними; которые адекватно отражают некоторые свойства объекта с требуемой степенью точности



$\bar{W}$ - *вектор внутренних параметров;*

$\bar{F}$ - *вектор выходных параметров;*

$\bar{Q}$ - *вектор внешних параметров;*

$\bar{V}$ - *вектор фазовых переменных.*

ММ любого радиотехнического объекта можно описать системой уравнений:

$$\varphi(\bar{V}, \bar{W}, \bar{Q}) = 0, \qquad (1)$$

$$\bar{F} = f(\bar{V}). \qquad (2)$$

Здесь φ и f –операторы, определяющие вид систем уравнений.

Решение уравнений (1) и (2) называют анализом математической модели

Классификация математических моделей

По уровню сложности: полные модели и макромодели.

По способу формирования: физические и формальные.

По способу задания внешних и внутренних параметров *: дискретные и непрерывные*

По содержанию: электрические, физико-технологические; технологические.

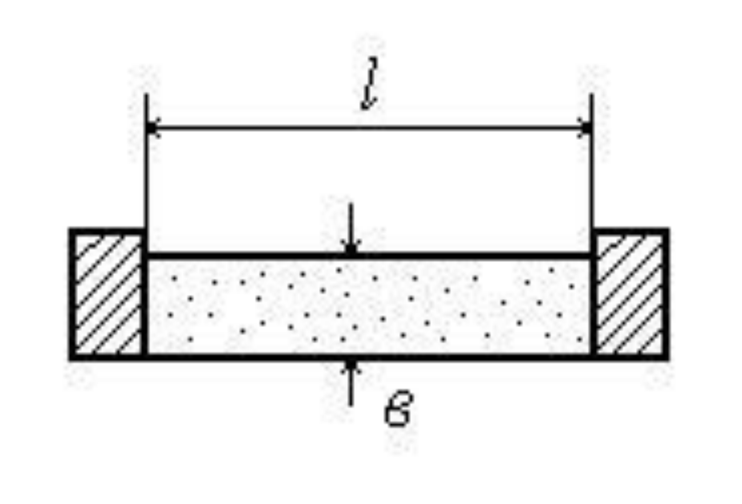
По типу параметров: сосредоточенные и распределенные

По способу получения: теоретические и эмпирические.

Базовые элементы	Компонентные уравнения		
	В операторной форме	Во временной форме	В частотной форме
1. Резистор:			
Линейный	$u = Ri(s)$	$u(t) = Ri(t)$	$u(\omega) = Ri(\omega)$
управляемый током	$u = r(i)i(s)$	$u(t) = R[i(t)]i(t)$	$u(\omega) = R[i(\omega)]i(\omega)$
управляемый напряжением	$i = G(u)u(s)$	$i(t) = G[u(t)]u(t)$	$i(\omega) = G[u(\omega)]u(\omega)$
2. Конденсатор:			
линейный	$i = Csu(s)$	$i(t) = cdu/dt$	$i(\omega) = j\omega Cu(\omega)$
управляемый током	$u = i(s)/[sC(i)]$	$u(t) = i(t)/\mathrm{c}(i)dt$	$u(\omega) = i(\omega)/[j\omega C(i)]$
управляемый напряжением	$i = sC(u)u(s)$	$i(t) = d[c(u)u(t)]/dt$	$i(\omega) = j\omega C(u)u(\omega)$
3. Индуктивность:			
линейная	$u = Lsi(s)$	$u(t) = Ldi(t)/dt$	$u(\omega) = j\omega Li(\omega)$
управляемая током	$u = sL(i)i(s)$	$u(t) = d[L(i)i(t)]/dt$	$u(\omega) = j\omega L(i)i(\omega)$

Пленочный резистор

Вид



Электрическая модель

Сопротивление резистора:

$$R = \frac{R_0 \cdot l}{в},$$

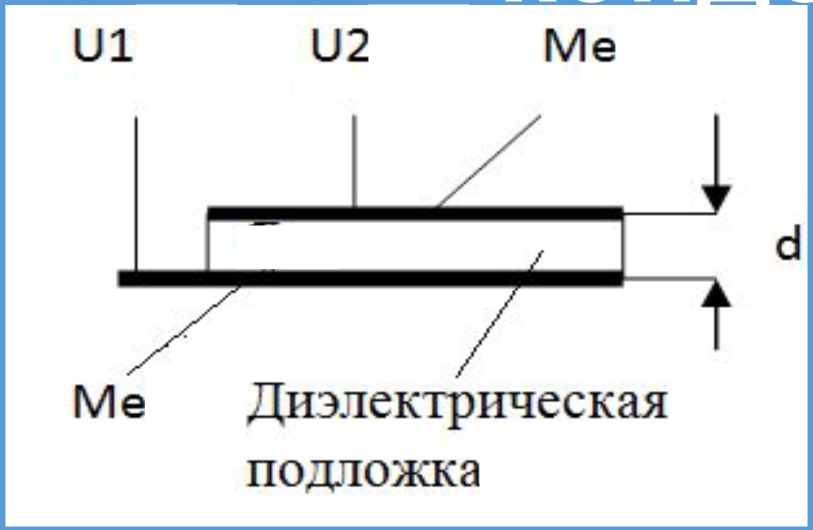
где R_0 *- поверхностное сопротивление резистивного слоя,*

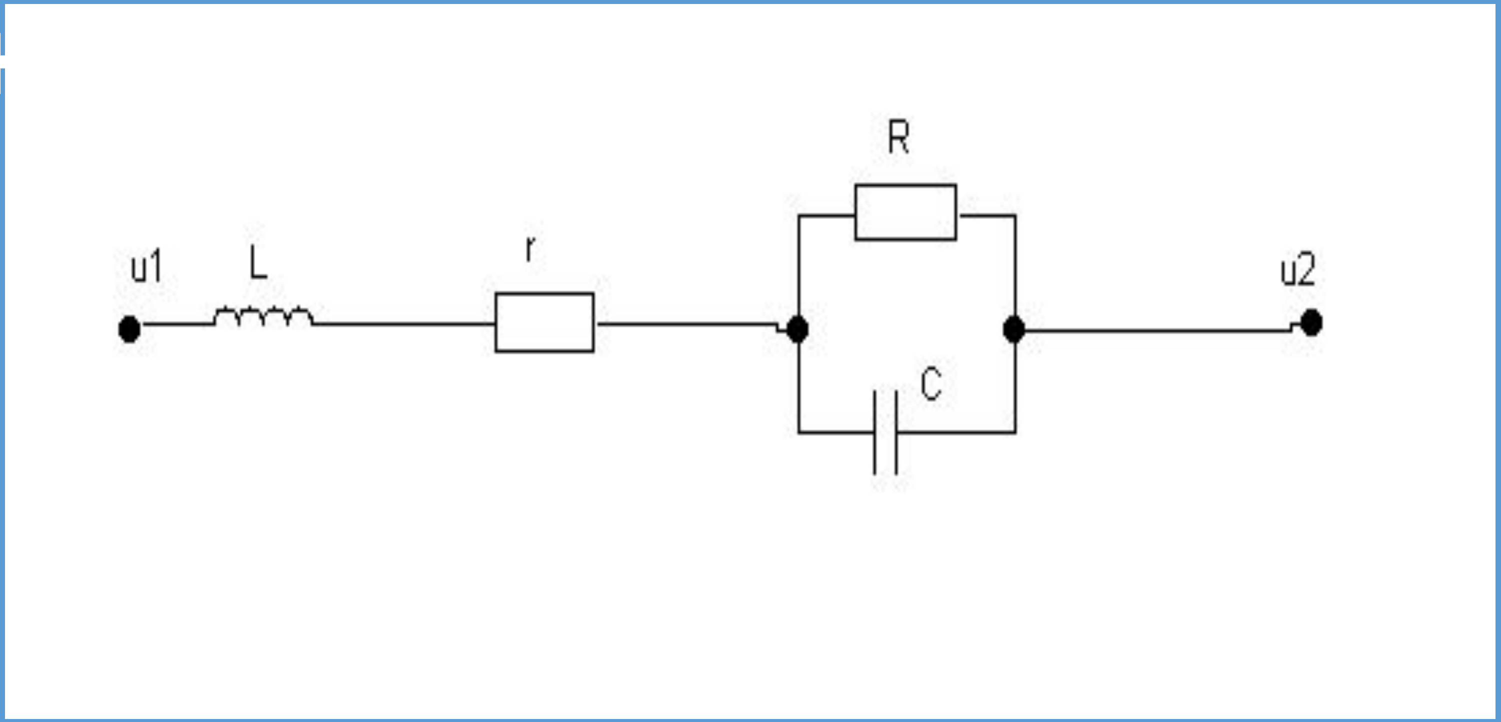
$l, в$

$$C = \frac{\varepsilon \cdot в \cdot d}{l}, \qquad C_k = \varepsilon \cdot \frac{в \cdot l}{d}$$

, где ε – диэлектрическая проницаемость подложки, d – ее ширина

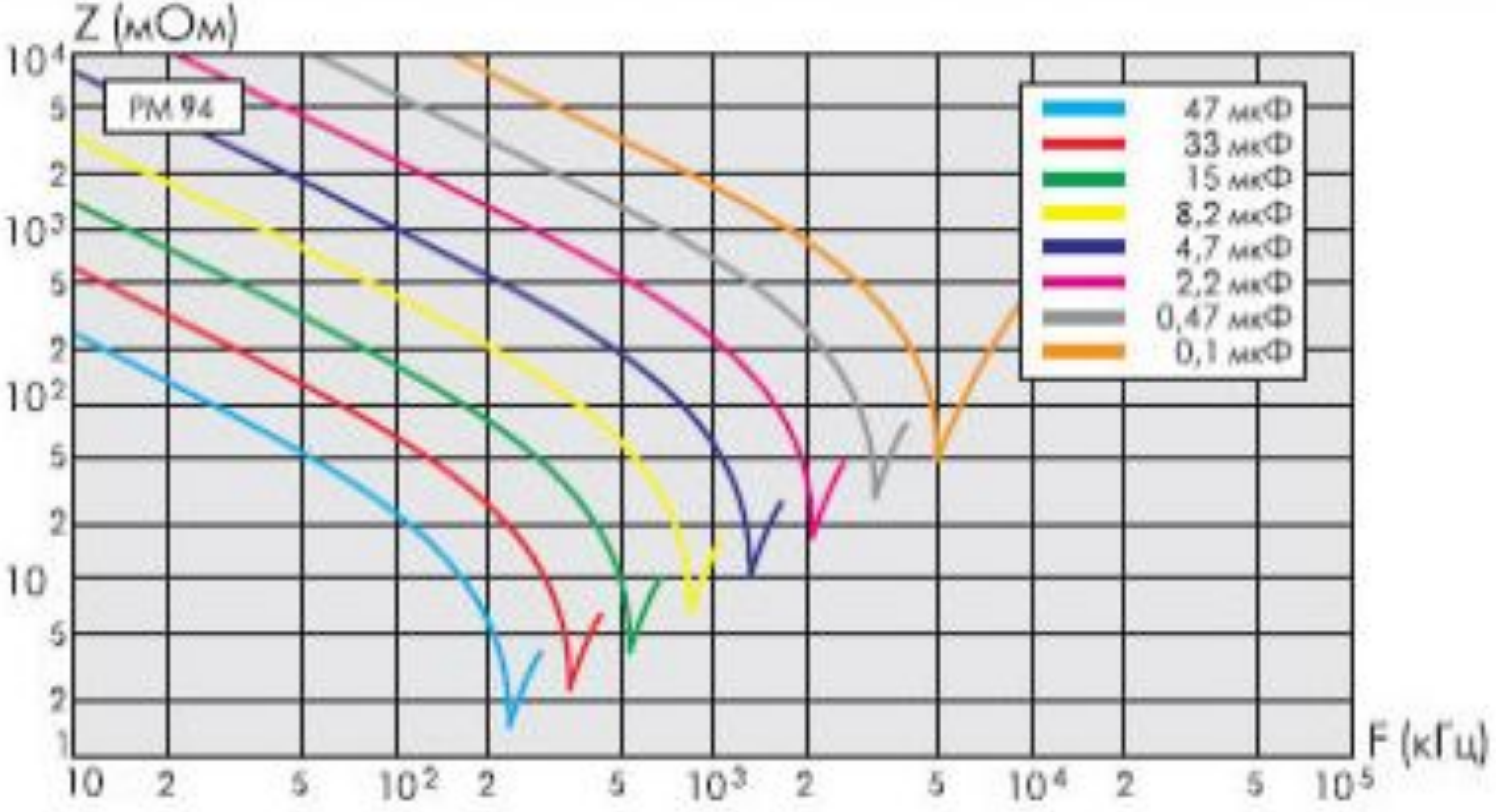
Пленочный конден



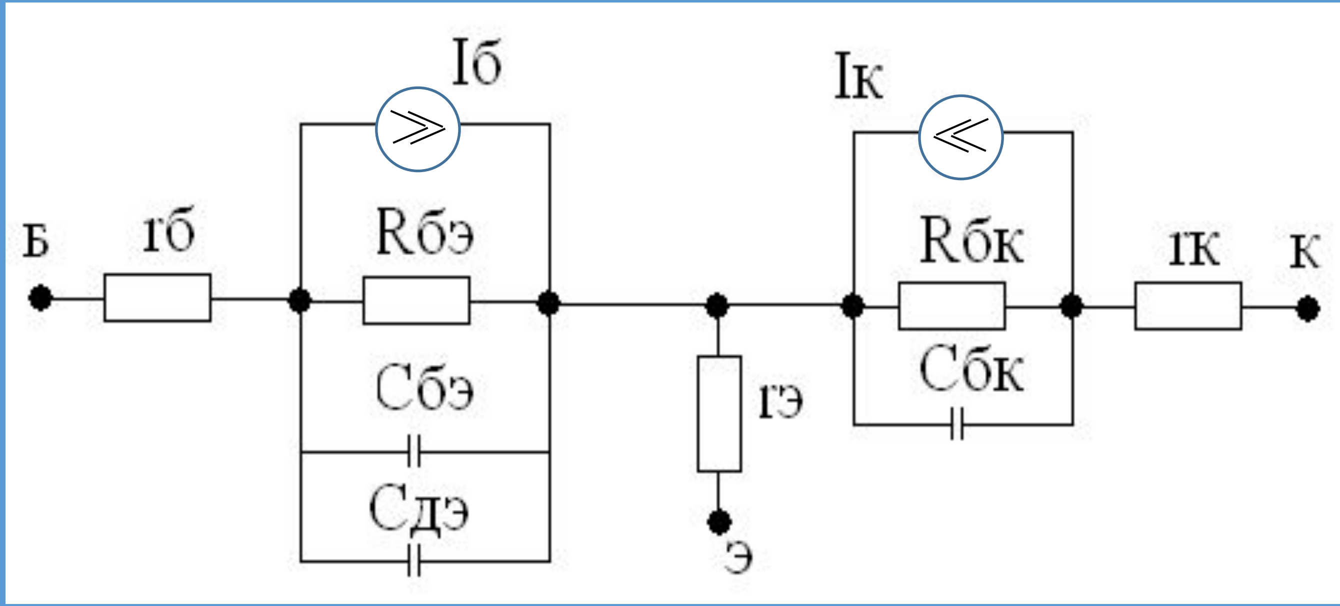


Емкость конденсатора вычисляют по формуле $C = \frac{\varepsilon S}{d}$ *, где ε - диэлектрическая проницаемость, S площадь обкладок, d – толщина диэлектри*

Величины R и L определяются экспериментально, $r = 2R_0 l w$*, где w,* l *– длина и ширина обкладок,* R_o *- удельное поверхностное сопротивление пленок металлизации. Сопротивление R – это потери, связанные с поляризацией диэлектрика, возникают на высоких частотах.*


Z (мОм)
PM 94
47 мкФ
33 мкФ
15 мкФ
8,2 мкФ
4,7 мкФ
2,2 мкФ
0,47 мкФ
0,1 мкФ
F (кГц)
10^4
5
2
10^3
5
2
10^2
5
2
10
5
2
1
10
2
5
10^2
2
5
10^3
2
5
10^4
2
5
10^5

Модель Эберса - Молла

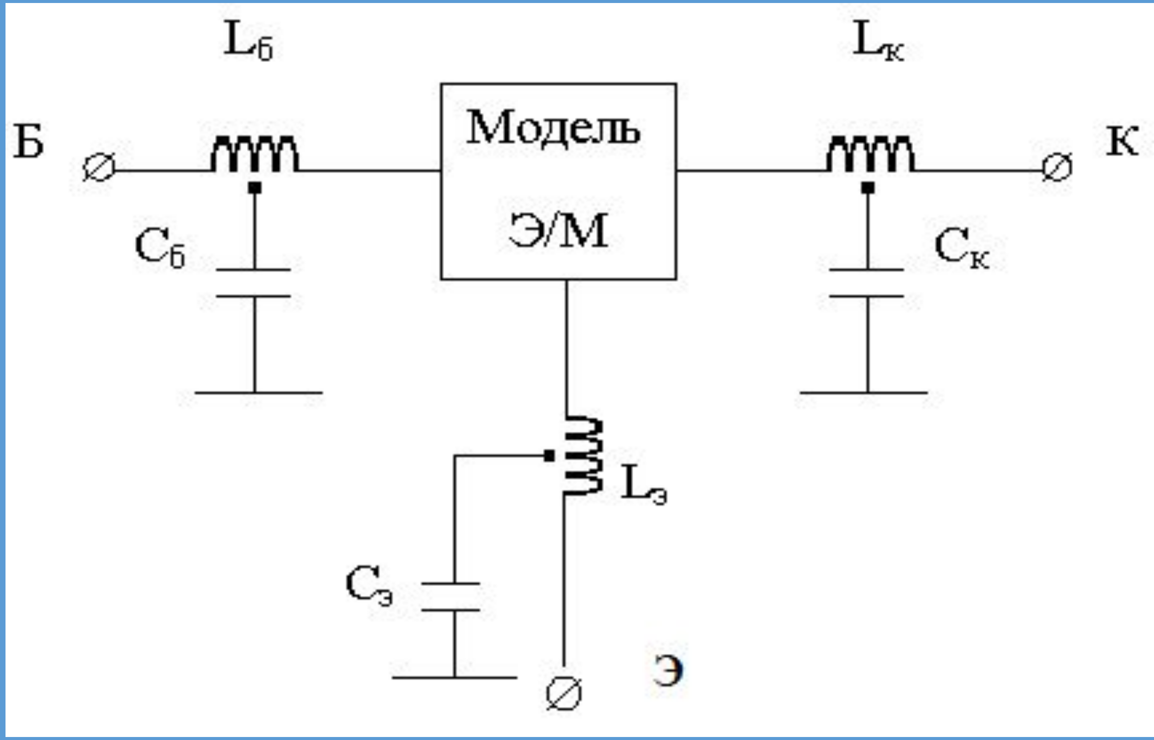


Здесь $r_б$, $r_э$, $r_к$ – собственное сопротивление базы, эмиттера и коллектора транзистора и контактов к ним, $I_б$, $I_к$ – управляемые напряжением $U_{бэ}$ источники тока, $R_{бэ}$, $R_{бк}$ – сопротивление утечки, а $C_{бэ}$, $C_{бк}$ - барьерные ёмкости эмиттерного и коллекторного переходов, $C_{дэ}$ - диффузная ёмкость эмиттерного перехода.

$I_б = I_{б0}\left[\exp\left(U_{бэ}/\varphi_T\right) - 1\right]$, $I_k = \beta I_б$, где $\varphi_T \approx 25$ мв – температурный потенциал, *β – коэффициент усиления по току в схеме ОЭ.*

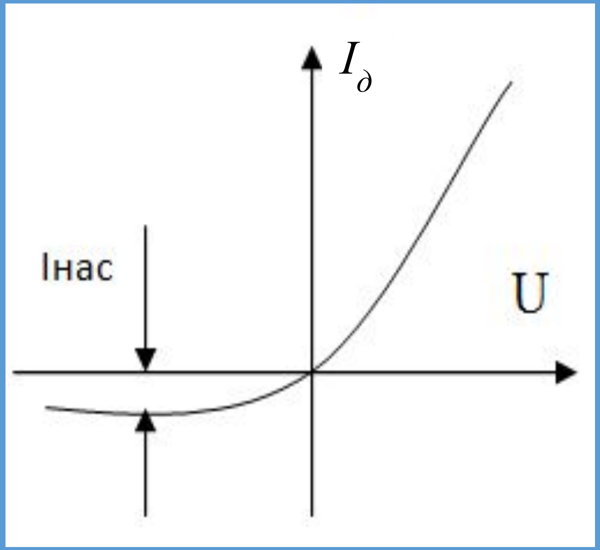
$C_{бэ} = \frac{C_{0б}}{(1-U_{бэ}/U_0)^{\gamma}}$, $C_{кб} = \frac{C_{0к}}{(1-U_{кб}/U_0)^{\gamma}}$, где $C_{0б}$, $C_{0к}$ - емкости переходов при нулевом напряжении на них, γ = 0,3...0,5 - коэффициент, зависящий от примесей, U_0= (0,3÷1,2)В - контактная» разность потенциалов.

Полная электрическая модель дискретного биполярного транзистора

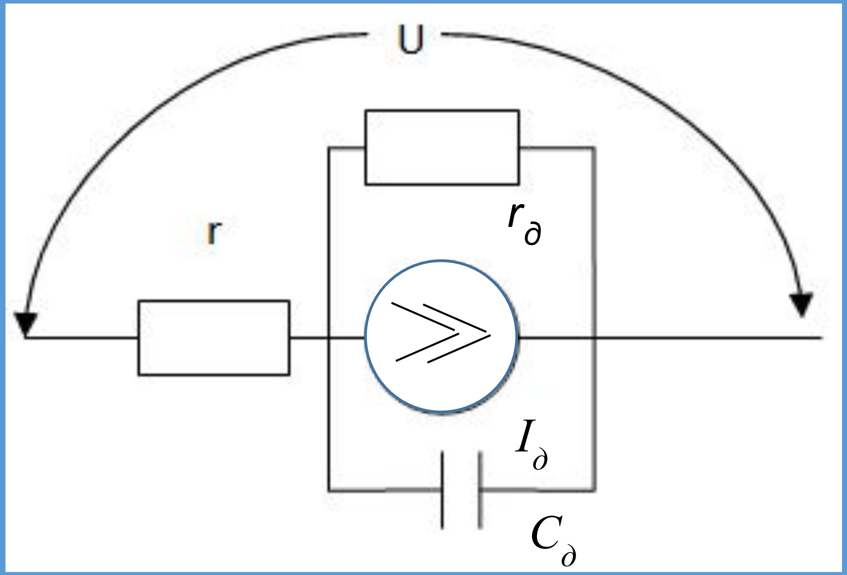


Электрические модели полупроводникового диода

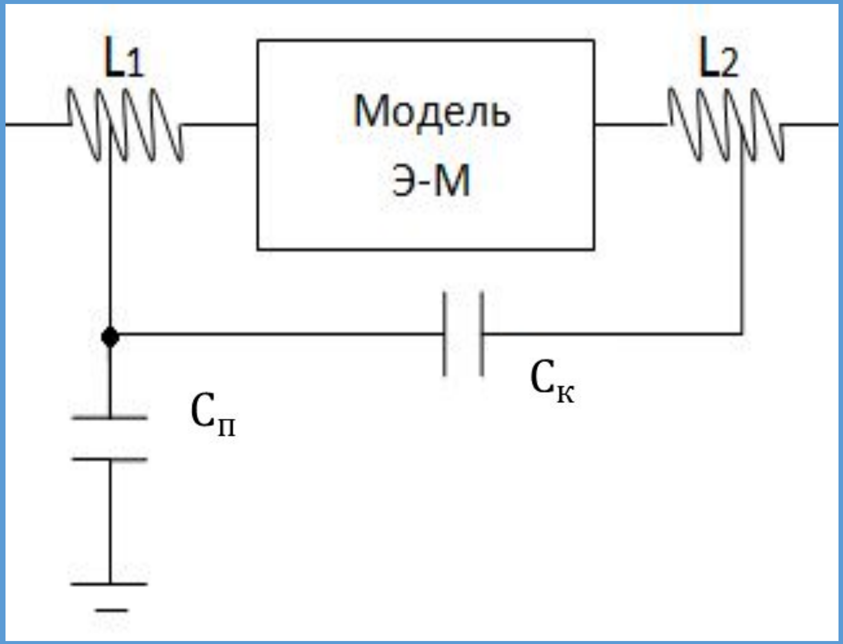
ВАХ диода



Модель Эберса - Молла

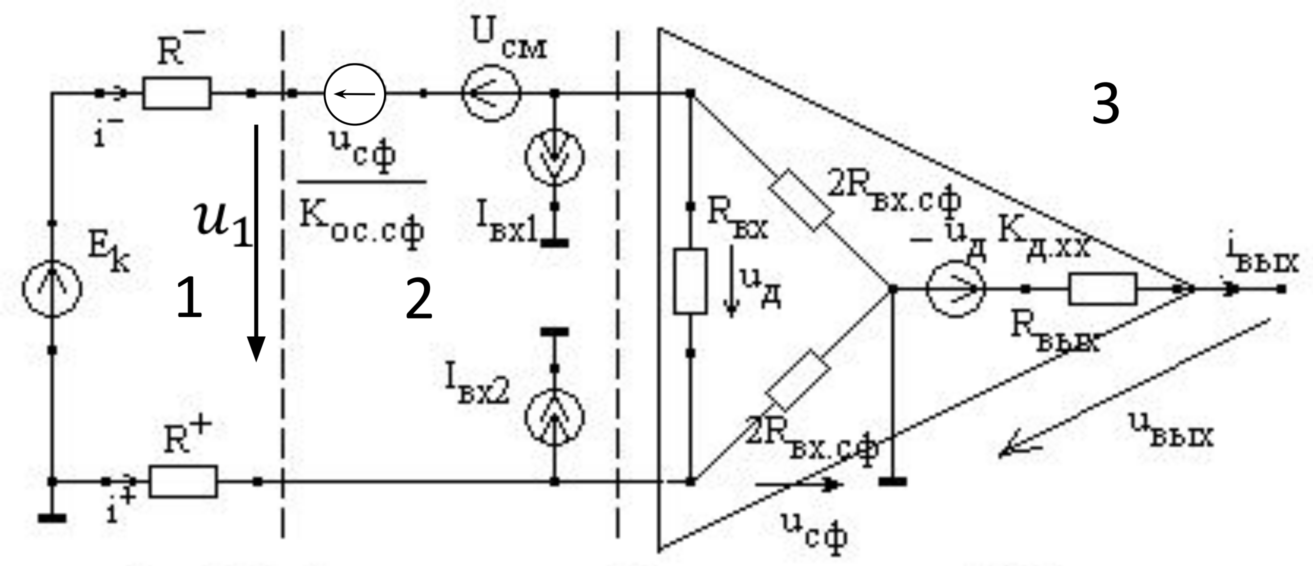


Модель дискретного диода



$I_\partial = I_{нас}[exp(U/\varphi_T) - 1]$, $I_{нас}$ - *ток насыщения перехода, обусловленный тепловой генерацией неосновных носителей;* r_∂ - *сопротивление утечки;* C_∂ - *сумма барьерной и диффузионной емкостей p-n перехода; r – объемное сопротивление тела базы,* $C_к$, $C_п$ - *емкость корпуса и контактов*;
L_1, L_2 - *индуктивности выводов*

Статическая макромодель операционного



1 – источник, компенсирующий генераторы статических ошибок;

2 - генераторы статических ошибок;

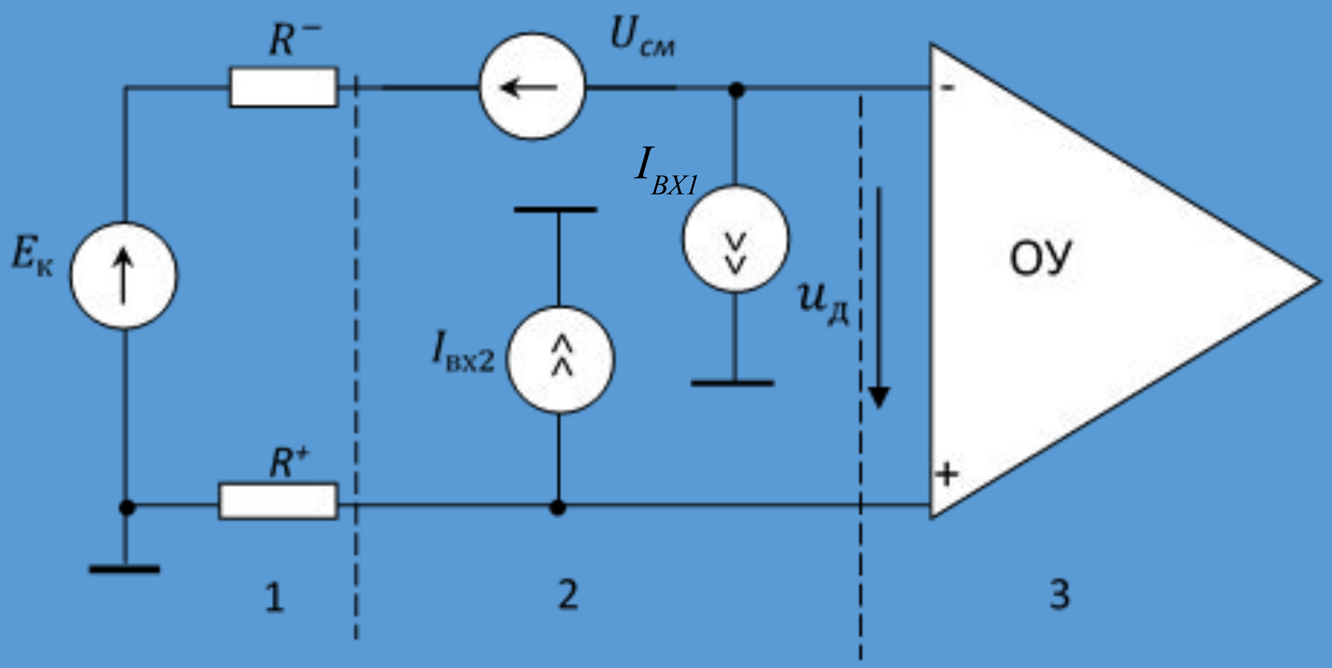
3 – идеальный ОУ (без статических ошибок);

R^-, R^+ - сопротивление внешних цепей постоянному току соответствующих входов.

$$u_1 = U_{см} + \frac{U_{сф}}{K_{ос.сф}} - (U_{вых} + i_{вых}R_{вых})/K_{д.хх}\,,$$

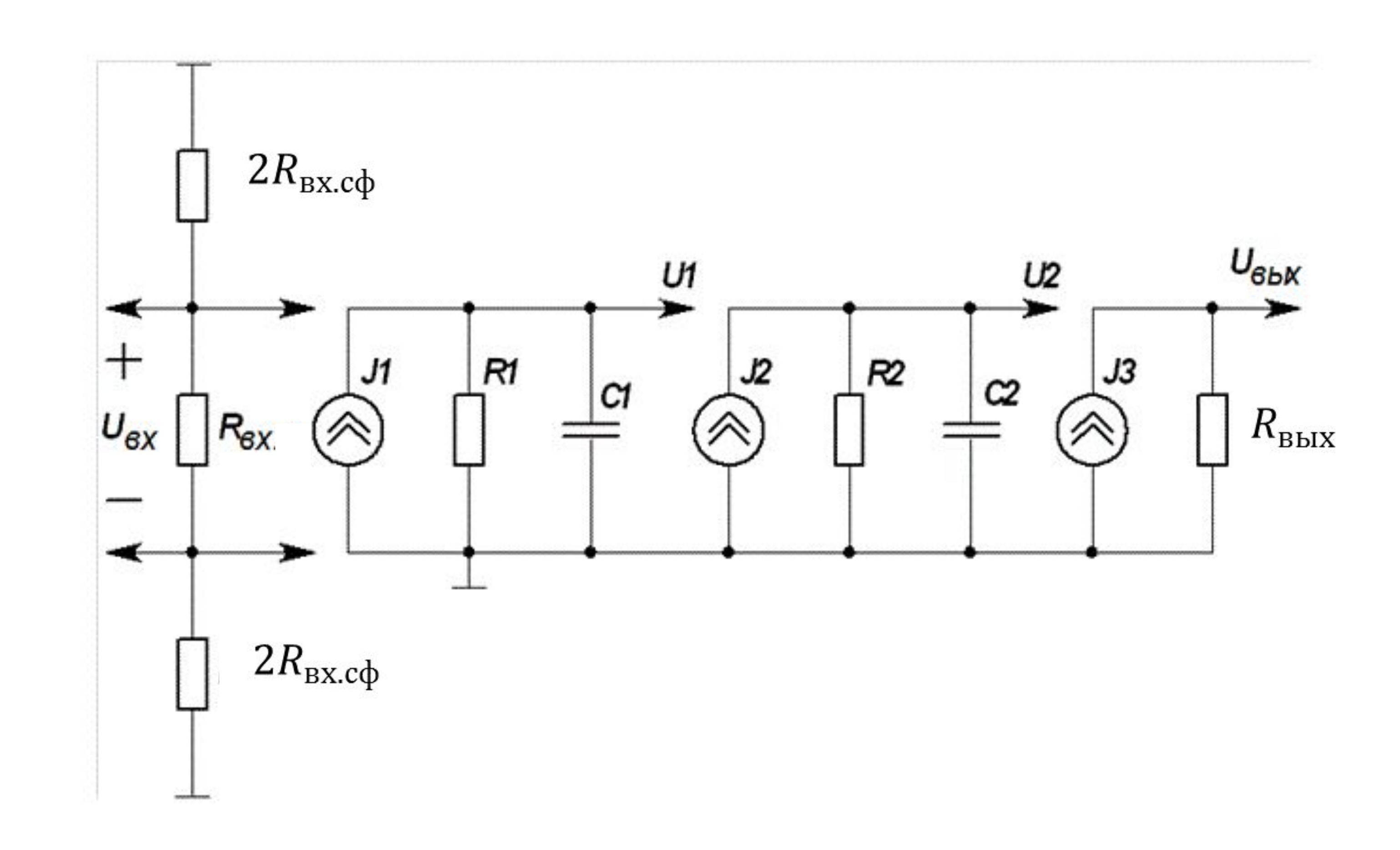
$$i^- = I_{вх1} + \frac{U_{сф}}{2R_{вх.сф}} - (U_{вых} + i_{вых}R_{вых})\left(\frac{1}{R_{вх}} + \frac{1}{2R_{вх.сф}}\right)/K_{д.хх},$$

$$i^+ = I_{вх2} + \frac{U_{сф}}{2R_{вх.сф}} - \frac{(U_{вых} + i_{вых}R_{вых})}{K_{д.хх}R_{вх}}$$



$$|E_{к}| = |U_{см}| + |I_{вх1}R^{-} - I_{вх2}R^{+}|$$

Динамическая линейная макромодель ОУ



$J_1 = S_1 U_{вх}$

$J_2 = S_2 U_1$

$J_3 = S_3 U_2$

$S_2 = K_2 / R_2$

$S_1 = K_1 / R_1$

$S_3 = K_3 / R_{вых}$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_1}$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_2}$$

ОСНОВНЫЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ММ В СТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

$$
\begin{gathered}
f_1(x_1, x_2, \dots \dots .., x_n) = 0 \\
f_2(x_1, x_2, \dots \dots .., x_n) = 0 \\
\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\
f_{\mathrm{n}}(x_1, x_2, \dots \dots .., x_n) = 0
\end{gathered}
$$

Или в векторной форме $\overline{F}(\overline{X}) = 0$, где $\overline{X}$ - вектор с n компонентами, $\overline{F} -$ вещественная вектор-функция также с n компонентами.

Для решения системы $\overline{F}(\overline{X}) = 0$ можно использовать метод простых итераций:

$$\overline{X}^{k+1} - \overline{X}^{k} = \overline{\lambda\, F}\left(\overline{X}^{k}\right).$$

Где k – номер итерации, λ - множитель , регулирующий сходимость.

Процесс останавливается, когда разность между значениями переменных на соседних итерациях оказывается меньше требуемой точности

$$\left|\overline{X}^{k+1} - \overline{X}^{k}\right| < \xi.$$

Более быструю сходимость обеспечивает метод Ньютона. Итерационная формула Ньютона имеет вид:

$$\overline{X}^{k+1} = \overline{X}^{k} - \left[\frac{\mathrm{d}f_j\left(\overline{X}^{k}\right)}{dx_i}\right]^{-1} \times \overline{F}\left(\overline{X}^{k}\right).$$

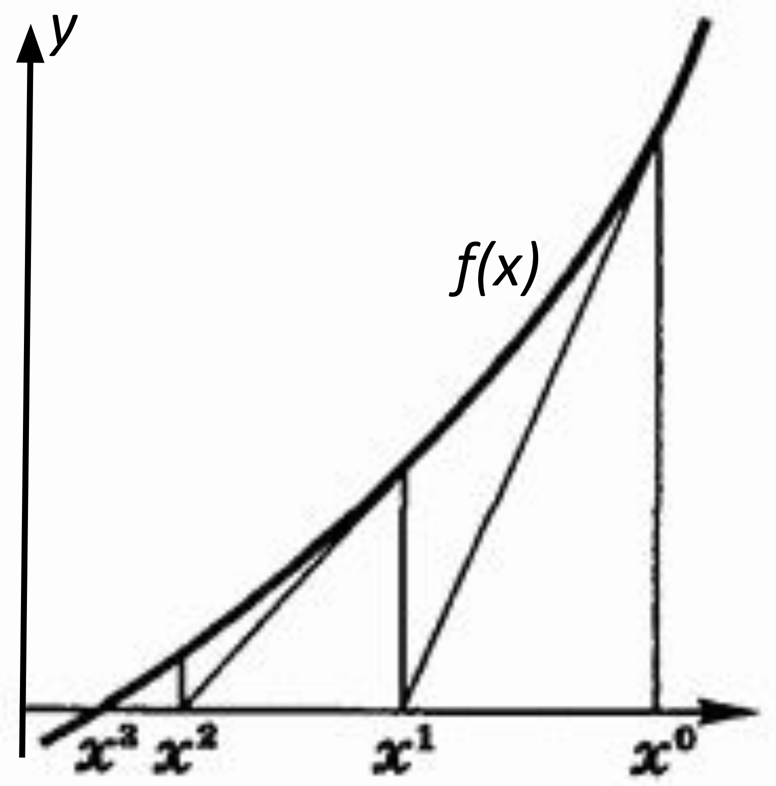
Здесь $\left[\frac{\mathrm{d}f_j\left(\overline{X}^{k}\right)}{dx_i}\right]$ - матрица первых производных (матрица Якоби).

Решением этой системы является вектор $\left|\overline{X}\right| = [x_1, x_2, \dots \dots \dots, x_n]$, который удовлетворяет эту систему с требуемой точностью.

Для случая одного уравнения с одним неизвестным формула Ньютона примет вид:

$$x^{k+1} = x^{k} - \frac{f\left(x^{k}\right)}{f'\left(x^{k}\right)}.$$

Геометрическая сущность метода Ньютона состоит в том, что на каждом шаге итерации кривая *f(x)* заменяется прямой линией, касательной к *f(x)* в точке x^k , где *k* – номер приближения (см. следующий слайд)



1. Выберем произвольную точку x_0 на оси x и заданную погрешность ξ.

2. Проведем касательную к функции *f(x)* в точке (x_0 , $f(x_0)$). Определим точку, в которой касательная пересекает линию *y=0*. Обозначим эту точку x_1.

3. Вычислим значение функции *f(x)* в точке x_1. Если $|f(x_1)| > \xi$ или $|x_0 - x_1)| > \xi$, тогда в качестве новой точки x_0 выберем точку x_1, т.е. $(x_0 = x_1)$ и перейдем к пункту 2.

4. Итерационный процесс заканчивается, когда выполняется одно из условий $|\Delta x| \le \xi$ или $|f(x_i)| \le \xi$.

ЛИКБЕЗ

Если функция $f(x)$ имеет непрерывные производные вплоть до $(n+1)$-го порядка, то ее можно разложить в степенной ряд по *формуле Тейлора*:

$$f(x)=\sum_{n=0}^{\infty} f^{(n)}(a)\frac{(x-a)^n}{n!}=f(a)+f'(a)(x-a)+\frac{f''(a)(x-a)^2}{2!}+\ldots+\frac{f^{(n)}(a)(x-a)^n}{n!}+R_n,$$

где R_n – остаточный член .

Если приведенное разложение сходится в некотором интервале x, т.е. $\lim\limits_{x\to\infty} R_n = 0$, то оно называется *рядом Тейлора*, представляющим разложение функции $f(x)$ в точке a.

Если $a = 0$, то такое разложение называется *рядом Маклорена*:

6.3. Моделирование статического режима при формировании ММ в базисе узловых потенциалов

В этом базисе исходная модель-уравнение, соответствующая уравнению $\overline{F}(\overline{X}) = 0$, имеет вид $\overline{I}(\overline{U}) = 0$, где $\overline{I}(\overline{U})$ - вектор узловых токов.

Модель схемы формируется в виде , соответствующем решению методом Ньютона.

Было

$$\overline{X}^{k+1} = \overline{X}^{k} - \left[\frac{df_j\left(\overline{X}^{k}\right)}{dx_i}\right]^{-1} \times \overline{F}\left(\overline{X}^{k}\right).$$

Будет

$$\Delta\overline{U}^{k} \left[\frac{\mathrm{d}f_j\left(\overline{I}^{k}\right)}{du_i}\right] = -\overline{I}\left(\overline{U}^{k}\right), \qquad (1)$$

Где $\left[\frac{\mathrm{d}f_j\left(\overline{I}^{k}\right)}{du_i}\right]$ – матрица узловых проводимостей, $\Delta\overline{U}^{k} = \overline{U}^{k+1} - \overline{U}^{k}$ – вектор поправок.

Разложим функцию в ряд Тейлора, удерживая в нем члены, содержащие первые производные первого порядка, другими словами в виду малости $\Delta\overline{U}^{k}$ отбросим все члены ряда Тейлора, начиная с квадратичного. Тогда уравнение (1) сведется к системе линейных уравнений относительно искомых переменных $\Delta\overline{U}^{k}$.

Первое уравнение для первого узла

$$\sum_{j=1}^{n} I_1^{(k)} + \underbrace{\frac{\partial\left(\sum_{j=1}^{n} I_1^{(k)}\right)}{\partial u_1}}_{G_{11}} \cdot \Delta u_1^k + \ldots\ldots + \underbrace{\frac{\partial\left(\sum_{j=1}^{n} I_1^{(k)}\right)}{\partial u_n}}_{G_{1n}} \cdot \Delta u_n^k = 0,$$

Здесь

G_{11} – собственная проводимость первого узла, остальные частные производные – это взаимные проводимости между первым и остальными узлами, т.е. G_{1n} – взаимная проводимость между первым и n-м узлом.

$\sum_{j=1}^{n} I_1^{(k)}$ - узловой ток первого узла, т.е. алгебраическая сумма токов ветвей, сходящихся к первому узлу.

Уравнение (1) в матричной форме при n-узлах

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial\left(\sum_{j=1}^{n} I_1^{(k)}\right)}{\partial u_1} & \cdots & \frac{\partial\left(\sum_{j=1}^{n} I_1^{(k)}\right)}{\partial u_n} \\ \frac{\partial\left(\sum_{j=2}^{n} I_2^{(k)}\right)}{\partial u_1} & \cdots & \frac{\partial\left(\sum_{j=2}^{n} I_2^{(k)}\right)}{\partial u_n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{\partial\left(\sum_{j=n}^{n} I_n^{(k)}\right)}{\partial u_1} & \cdots & \frac{\partial\left(\sum_{j=n}^{n} I_n^{(k)}\right)}{\partial u_n} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \Delta u_1^k \\ \Delta u_2^k \\ \cdots \\ \Delta u_n^k \end{vmatrix} = - \begin{vmatrix} \sum_{j=1}^{n} I_1^{(k)} \\ \sum_{j=2}^{n} I_2^{(k)} \\ \cdots \\ \sum_{j=n}^{n} I_n^{(k)} \end{vmatrix} .$$

6.4. Моделирование переходных процессов

6.4.1. Линейные устройства

Временной отклик электрической модели определяется обратным преобразованием Лапласа

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j}\int_{c-j\infty}^{c+j\infty} F(p)e^{pt}dp, \qquad (1)$$

где $F(p)$ – операторное изображение выходного параметра, полученного из ММ

Аппроксимация Паде

$$z = tp,\ e^{z} = \frac{P_n(z)}{Q_m(z)},$$

Для n < m (физически реализуемая система)

$$\frac{P_n(z)}{Q_m(z)} = \sum_{i=1}^{m} \frac{k_i}{z - z_i},$$

где z_i – полюсы аппроксимирующей функции Паде, а k_i – соответствующие им вычеты. Полюсы z_i и вычеты k_i для разных n и m рассчитаны с высокой точностью и приведены в литературе.

Формула приближенного обратного преобразования Лапласа

$$f(t) = \frac{1}{t}\sum_{i=1}^{m} k_i F\left(\frac{z_i}{t}\right).$$

6.4.2. Нелинейные устройства

Задача Коши

Найти функцию u, удовлетворяющую уравнению

$$\frac{du}{dt} = u' = f(u,t)$$

и принимающую при $t = t_0$ заданное значение $u(t_0) = u_0$

Метод Рунге – Кутта

$$u(t_k) = u_k = u(t_{k-1} + \Delta t) = u_{k-1} + \Delta t \frac{du(t_{k-1})}{dt} + \frac{\Delta t^2}{2!}\frac{d^2u(t_{k-1})}{dt^2} + \cdots.$$

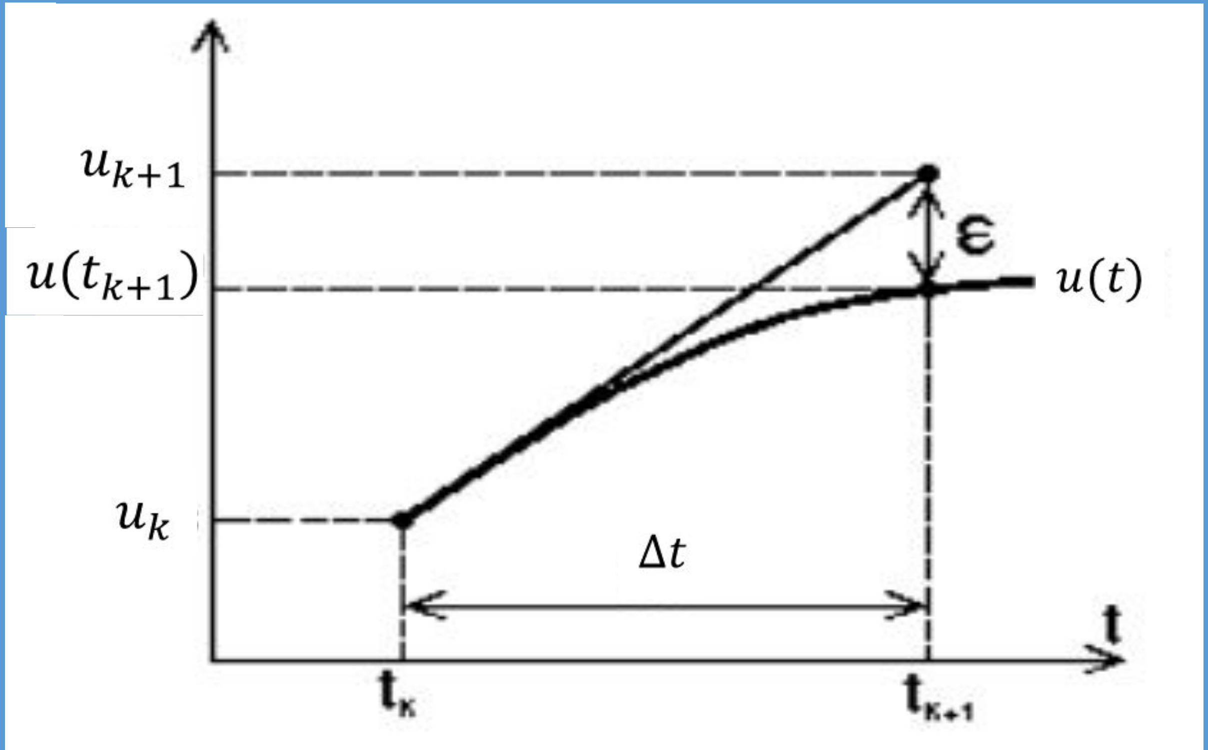
Если шаг интегрирования Δt мал, то всеми членами разложения высокого порядка можно пренебречь, тогда

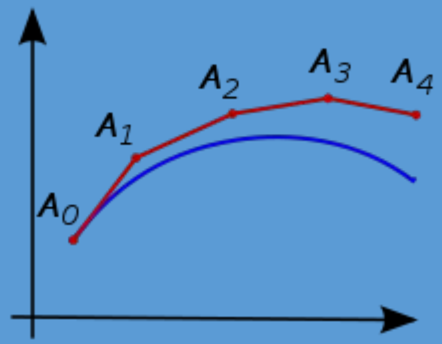
$$u_k = u_{k-1} + \Delta t \frac{du(t_{k-1})}{dt} = \Delta t f\left(u_{k-1}, t_{k-1}\right)$$

Итерационная формула

$$u_{k+1} = u_k + \Delta t \frac{du_k}{dt}, k = 1,2, \ldots n$$

Геометрическая интерпретация метода Рунге – Кутта первого порядка (явного метода Эйлера)

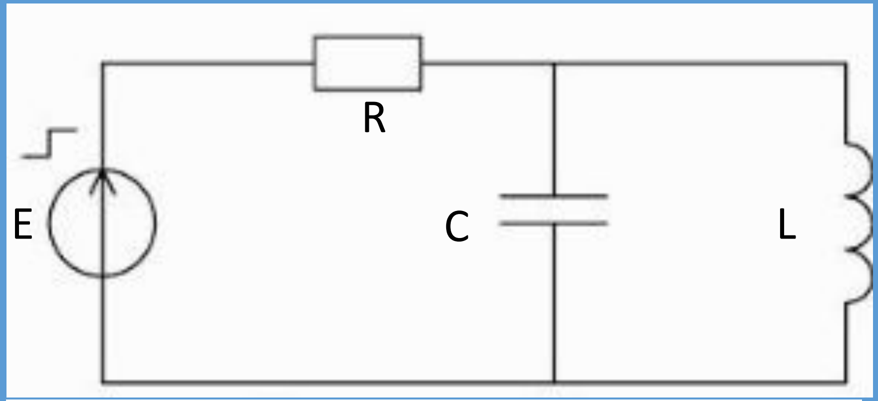




Явный метод Эйлера налагают ограничения на выбор независимых переменных. Ими могут быть только напряжения на конденсаторах и токи через индуктивности, которые описываются компонентными уравнениями:

$$i_C = C\frac{du_C(t)}{dt}, \qquad u_L = L\frac{di_L(t)}{dt}$$

$$u_C = \frac{1}{C}\int i_C(t)dt, \qquad i_L = \frac{1}{L}\int u_L(t)dt.$$



$$i_C + i_L - i_R = 0,$$
$$-E + u_R + u_C = 0,$$
$$u_L - u_C = 0.$$

$$u_R = Ri_R,\ i_C = Cdu_C/dt,\ u_L = Ldi_L/dt,$$

$$\frac{du_C(t)}{dt} = \frac{1}{C}\left(\frac{-E-u_C(t)}{R} - i_L(t)\right).$$

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{u_C(t)}{L}$$

Явный метод Эйлера

$$u_{k+1} = u_k + \Delta t \frac{du_k}{dt}, k = 1,2, \dots n$$

Неявный метод Эйлера

$$u_{k+1} = u_k + \Delta t \frac{du_{k+1}}{dt}, \quad k = 1,2, \dots n$$

Локальные ошибки

Явную формулу Эйлера можно рассматривать, как разложение u(t) в ряд Тейлора, в котором оставлены только линейные члены. Поэтому локальная ошибка интегрирования равна остаточному члену:

$$\varepsilon = \frac{\Delta t^2}{2!} \frac{d^2 u(\tau)}{dt^2}, \quad \text{где} \quad t < \tau < t + \Delta t$$

Метод трапеции

$$u_{k+1} = u_k + \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{du_k}{dt} + \frac{du_{k+1}}{dt} \right)$$

Многошаговые методы

Методы численного интегрирования, которые используют для вычисления u_{k+1} информацию о нескольких ранее полученных значениях u(t) называют *много шаговыми*.

Линейная многошаговая формула порядка m имеет вид:

$$u_{k+1} = \sum_{i=1}^{m} a_i u_{k+1-i} + \Delta t \sum_{i=0}^{m} b_i \frac{du_{k+1-i}}{dt} \qquad (1)$$

Если $b_0 = 0$, метод является явным, при $b_0 \neq 0$ - неявным

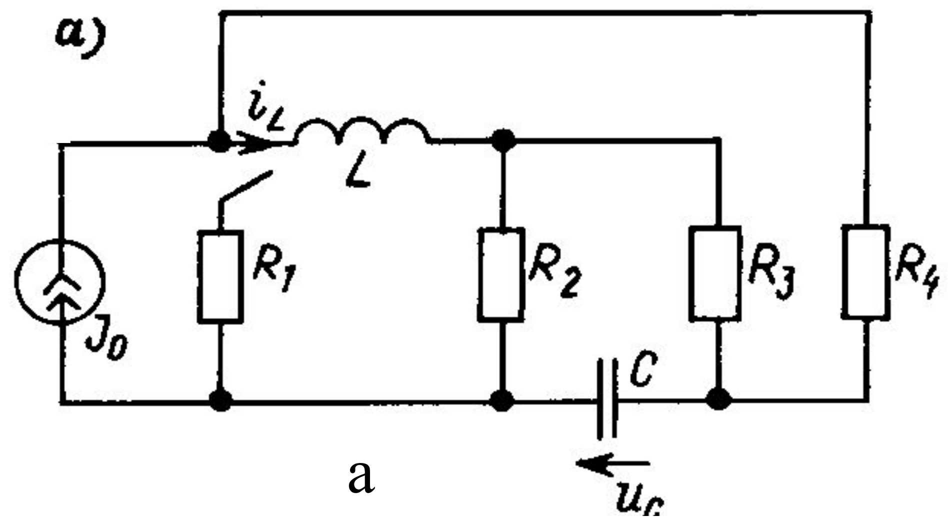
Рассмотренные одношаговые методы численного интегрирования являются частным случаем формулы (1):

- при $m = 1, a_1 = 1, b_0 = 0, b_1 = 1$ получим явную формулу Эйлера;
- При $m = 1, a_1 = 1, b_0 = 1, b_1 = 0$ имеем неявную формулу Эйлера.

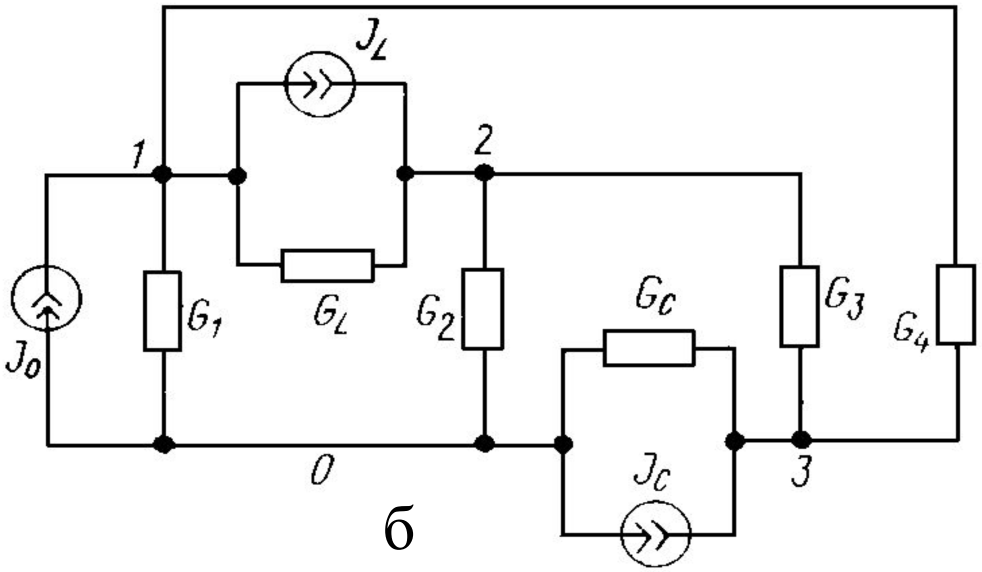
При $b_1 = b_2 = \cdots = b_m$ =0 получим многошаговую формулу дифференцирования назад (ФДН):

$$u_{k+1} = \sum_{i=1}^{m} a_i u_{k+1-i} + \Delta t b_0 \frac{du_{k+1}}{dt}.$$

Методом узловых напряжений рассчитать схему, приведенную на рисунке 1



а



б

Рисунок 1, а – принципиальная схема, б – эквивалентная дискретная резистивная схема

$$G_L = \frac{\Delta t}{L}, J_L = i_{Lk}, G_C = \frac{C}{\Delta t}, \; J_C = \frac{C}{\Delta t} u_{Ck}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 + G_L + G_4 & -G_L & -G_4 \\ -G_L & G_L + G_2 + G_3 & -G_3 \\ -G_4 & -G_3 & G_C + G_4 + G_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_0 - J_L \\ J_L \\ J_C \end{bmatrix}$$

Расчет заключается в решении системы узловых уравнений на каждом шаге процесса, по результатам которого находят значения

$i_{L_{k+1}} = i_{L_k} + G_L u_{12} = i_{L_k} + \frac{h}{L}(u_1 - u_2)$ и $u_{C_{k+1}} = u_3$, которые используются в качестве исходных данных при расчете на следующем шаге. В начале расчета (k = 0), $i_L(0)$ и $u_C(0)$.

6.5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ

Частотная характеристика схемы – это отношение спектра (преобразование Фурье) выходного сигнала к спектру входного сигнала

$$K(j\omega) = \frac{X_{\text{вых}}(j\omega)}{X_{\text{вх}}(j\omega)} = K(\omega)e^{j\varphi(\omega)},$$

где $K(j\omega)$ – комплексный коэффициент передачи (передаточная функция);
$K(\omega)$ – модуль передаточной функции (АЧХ), $\varphi(\omega)$ – аргумент ПФ (ФЧХ).

Передаточная функция $K(j\omega)$ и импульсная характеристика g(t) связаны парой преобразования Фурье

$$K(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t)e^{-j\omega t}\,dt, \qquad g(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} K(j\omega)e^{j\omega t}\,d\omega. \qquad (1)$$

Если используются аналоговые сигналы, то соотношение (1) непрерывные, а если импульсные – дискретные. Широко используется дискретное быстрое преобразование Фурье.

Импульсная g(t) и переходная характеристики связаны другими соотношениями

$$g(t) = \frac{d}{dt}h(t), \qquad h(t) = \int_0^t g(\tau)\,d\tau$$

При подаче на вход произвольного сигнала $X_{\text{вх}}(t)$ выходной сигнал $X_{\text{вых}}(t)$ во временной области можно найти с помощью интеграла свертки (Дюамеля)

$$X_{\text{вых}}(t) = \int_0^t X_{\text{вх}}(t-\tau)g(t)\,d\tau.$$

Этому соотношению в частотной области соответствует выражение

$$X_{\text{вых}}(j\omega) = K(j\omega)X_{\text{вх}}(j\omega).$$

Если $\mathrm{E}_{\text{вх}}(j\omega) = 1 \times e^{j0}$, то

$$K(j\omega) = \frac{U_{\text{вых}}(j\omega)}{E_{\text{вх}}(j\omega)} = U_{\text{вых}}(j\omega).$$

Компонентные уравнения реактивных ветвей:

$$i_C = j\omega C(u_{\text{нач}} - u_{\text{кон}}), i_L = -\frac{j}{\omega L}(u_{\text{нач}} - u_{\text{кон}}), \qquad (2)$$

где $u_{\text{нач}}, u_{\text{кон}}$ – напряжения на концах реактивных цепей.

Соответственно, проводимости ветвей равны:

$$G_C = j\omega C, \qquad G_L = -\frac{j}{\omega L}. \qquad (3)$$

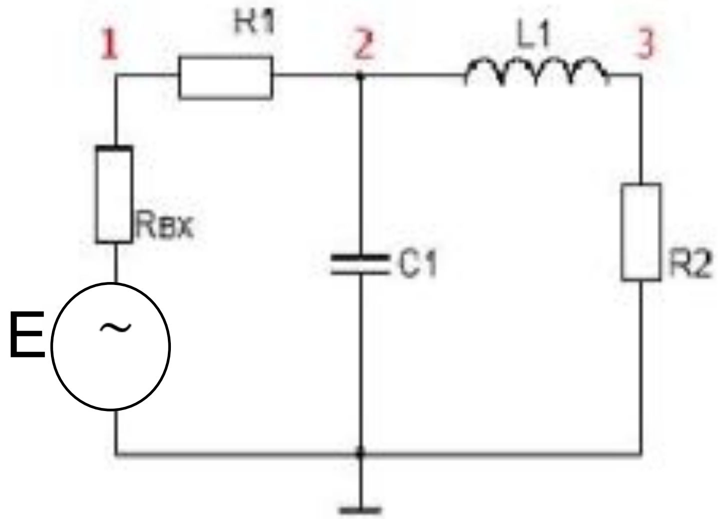
Уравнение (2) используется для формирования вектора узловых токов, а уравнение (3) – матрицы узловых проводимостей.

В результате получим систему уравнений линейной схемы в частотной области

$$\overline{G}(j\omega)\overline{U}(j\omega) = -\overline{I}(j\omega). \qquad (4)$$

Для решения системы уравнений (4) используются программы, оперирующие с комплексными коэффициентами. Для каждой частоты определяются действительные и мнимые части узловых потенциалов (напряжений), по ним находят амплитуду и фазу этих напряжений

Пример



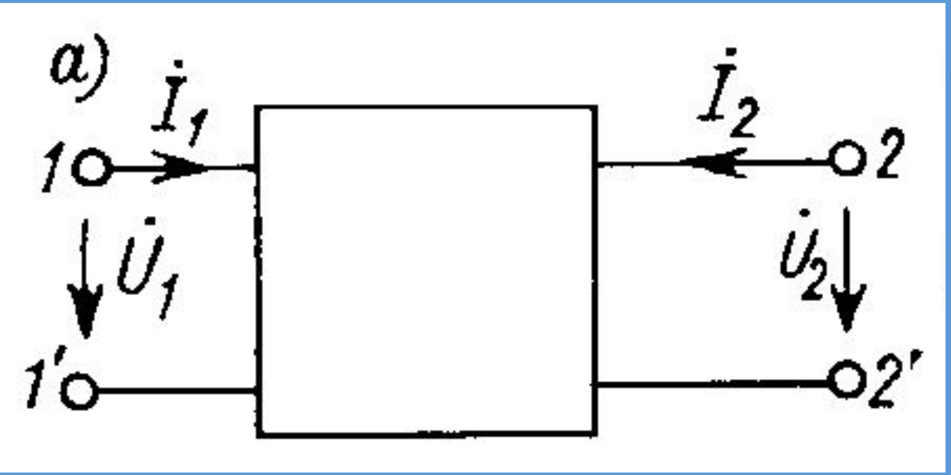
Решаем систему из трех линейных уравнений, находим напряжения в узлах. Если взять отношение

$$\frac{U_3(j\omega)}{E_{\text{вх}}(j\omega)} = K(j\omega) = U_3(j\omega) -$$

это будет комплексный коэффициент передачи, далее найдем модуль $U_3(j\omega)$ (АЧХ) и аргумент – ФЧХ.

$$\begin{vmatrix} \left(\frac{1}{R_{вх}}+\frac{1}{R_1}\right) & -\frac{1}{R_1} & 0 \\ -\frac{1}{R_1} & \left(\frac{1}{R_1}+j\omega C_1+\frac{1}{j\omega L_1}\right) & -\frac{1}{j\omega L_1} \\ 0 & -\frac{1}{j\omega L_1} & \left(\frac{1}{R_2}+\frac{1}{j\omega L_1}\right) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{E}{R_{вх}} \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

ПРИМЕНЕНИЕ МАТРИЦ КЛАССИЧЕСКОЙ И ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ



Форма Y

$$\begin{cases} \underline{I}_1 = Y_{11}\underline{U}_1 + Y_{12}\underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 = Y_{21}\underline{U}_1 + Y_{22}\underline{U}_2 \end{cases}$$

Форма Z

$$\underline{U}_1 = Z_{11}\underline{I}_1 + Z_{12}\underline{I}_2$$
$$\underline{U}_2 = Z_{21}\underline{I}_1 + Z_{22}\underline{I}_2$$

Форма H

$$\underline{U}_1 = H_{11}\underline{I}_1 + H_{12}\underline{U}_2$$
$$\underline{I}_2 = H_{21}\underline{I}_1 + H_{22}\underline{U}_2$$

Форма G

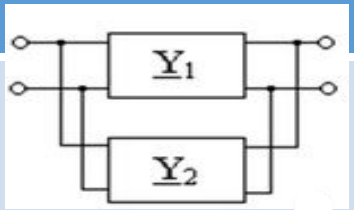
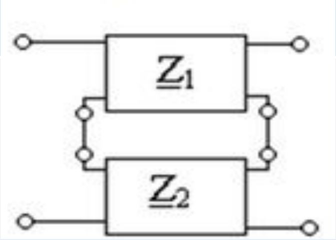
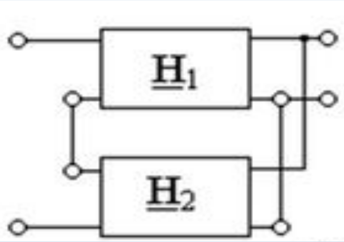
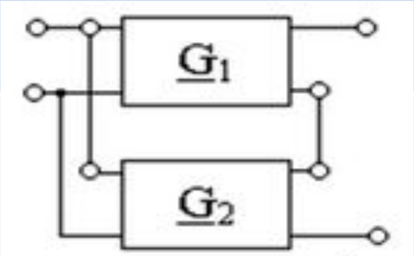
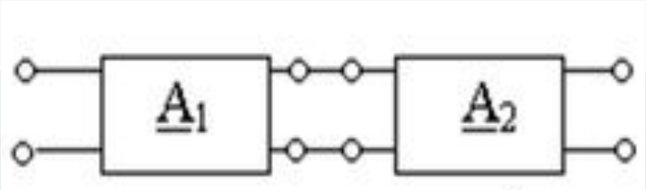
$$\begin{cases} \underline{I}_1 = G_{11}\underline{U}_1 + G_{12}\underline{I}_2 \\ \underline{U}_2 = G_{21}\underline{U}_1 + G_{22}\underline{I}_2 \end{cases}$$

В матричной форме

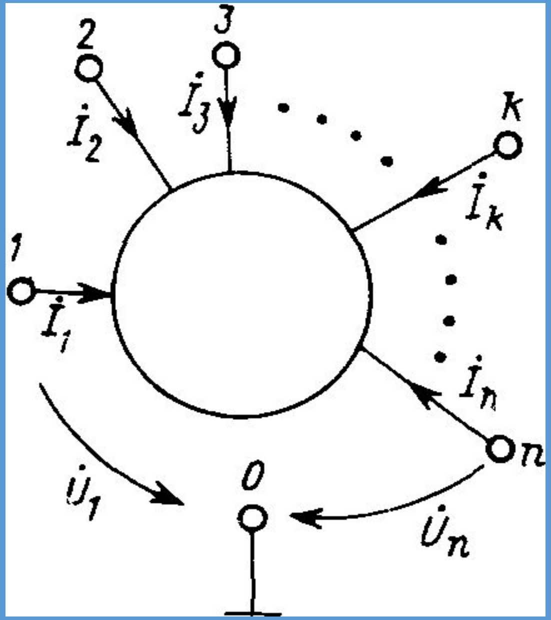
$$\begin{bmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{U}_2 \end{bmatrix}$$

Форма A

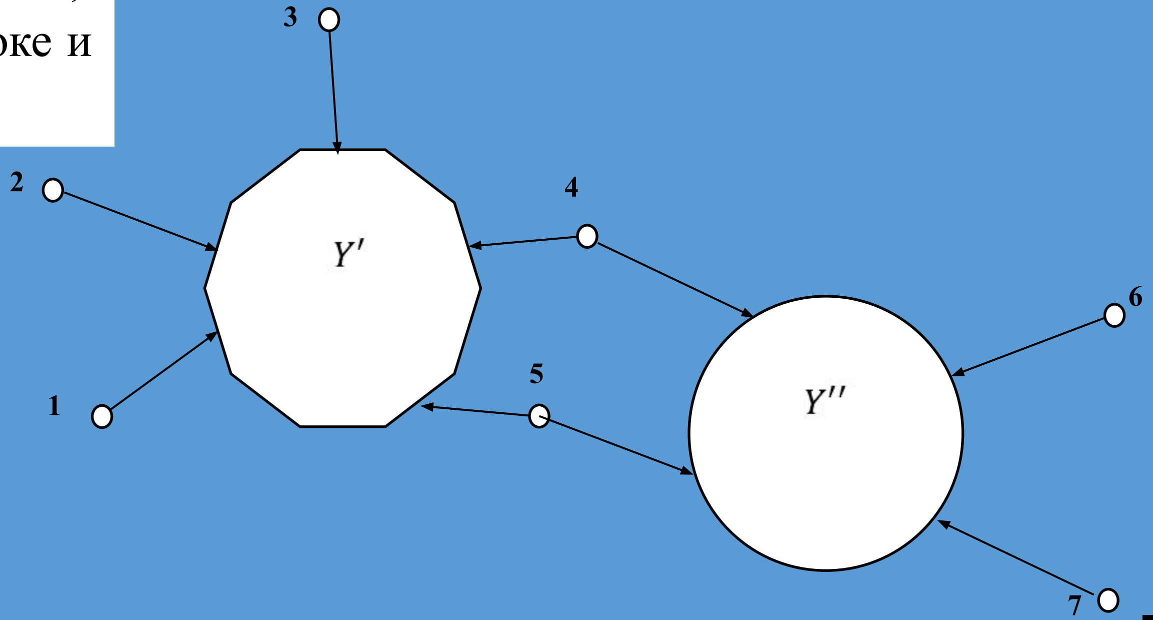
$$\underline{U}_1 = A_{11}\underline{U}_2 - A_{12}\underline{I}_2$$
$$\underline{I}_1 = A_{21}\underline{U}_2 - A_{22}\underline{I}_2$$

Название соединения	Схема соединения	Результирующая матрица
Параллельное		
Последовательное		
Последовательное-параллельное		
Параллельно-последовательное		
Каскадное		

СВОЙСТВА НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ МАТРИЦЫ:



- определитель матрицы равен нулю;
- сумма элементов по любой строке и по любому столбцу равна нулю.



$$[Y] = [Y'] + [Y''] =$$

					0	**0**
					0	0
					0	0
0	0	0				
0	0	0				

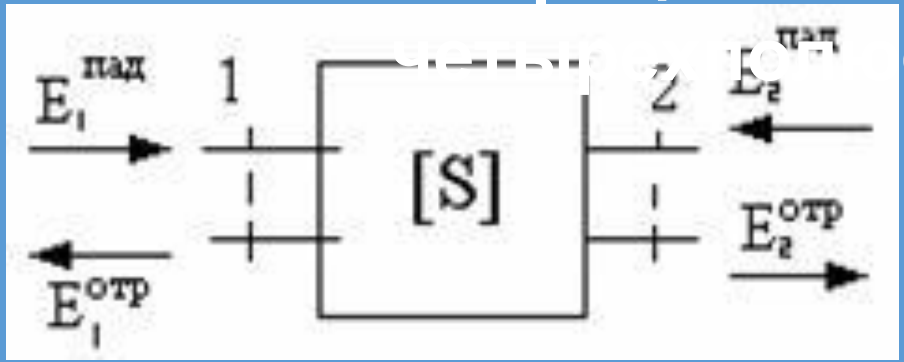
ЛИКБЕЗ

Электрические цепи, в которых индуктивность L, емкость C, активное сопротивление R сосредоточены в катушке, конденсаторе и резисторе называются цепями с сосредоточенными параметрами.

Однако имеются электрические цепи, в которых индуктивность, емкость и активное сопротивление распределены по длине цепи, например, в линиях передачи электромагнитных колебаний (в двухпроводных линиях, в фидерах, в волноводах). Такие цепи называются цепями с распределенными параметрам или длинными линиями.

Одна и та же цепь может вести себя как система с сосредоточенными или распределенными параметрами в зависимости от частоты (длины волны) сигнала, который действует в данной цепи.

Матрицы волновой теории четырехполюсников



Матрица рассеивания [S]

Режимы измерения S-параметров

1. Согласованная нагрузка включена в сечение 2 ($E_2^{пад} = 0$)

– коэффициент отражения на входе 1

– коэффициент передачи на вход 2 со входа 1

2. Согласованная нагрузка включена в сечение 1 ($E_1^{пад} = 0$)

$S_{12} = \dfrac{E_1^{отр}}{E_2^{пад}}$ – коэффициент передачи на вход 1со входа 2

$S_{22} = \dfrac{E_2^{отр}}{E_2^{пад}}$ – коэффициент отражения на входе 2

Матрица передачи [t]

$$\begin{cases} E_1^{пад} = t_{11} E_2^{отр} + t_{12} E_2^{пад} \\ E_1^{отр} = t_{21} E_2^{отр} + t_{22} E_2^{пад} \end{cases}$$

t- параметры не имеют такого простого физического смысла, как S-параметры, а представляют собой некоторые функции последних :

Следует отметить, что параметр t_{11} для четырехполюсника называют величиной затухания и, как правило , измеряют в децибелах

7. Учет влияния разброса внутренних параметров РЭС на его выходные характеристики

7.1. Постановка задачи

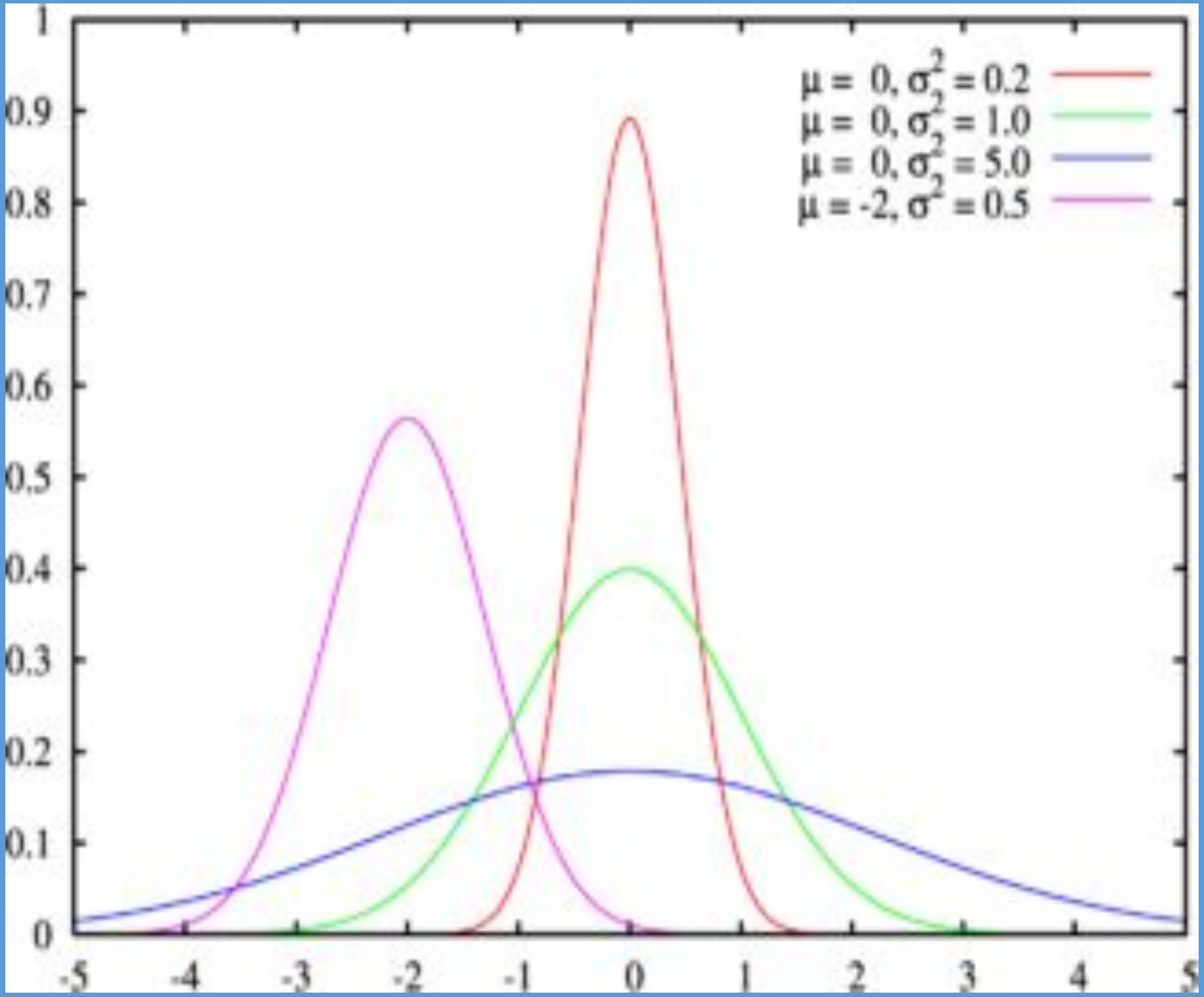
НОРМАЛЬНЫЙ ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Здесь μ – математическое ожидание (наиболее вероятное значение),

σ –среднеквадратическое отклонение величины х (оно характеризует форму кривой распределения),

$D(x) = \sigma^2$ – дисперсия.



При учете влияния разброса внутренних параметров РЭС может возникнуть необходимость решения следующих задач.

- ***Допусковый анализ.*** Задана схема РЭС, известны номинальные значения его внутренних параметров и допуски на них. Требуется найти возникающие при этом допуски на выходные параметры РЭС.
- ***Допусковый синтез***. Известна структура схемы РЭУ, заданы допуски на выходные параметры, необходимо найти допуски на параметры компонентов схемы (на внутренние параметры).
- ***Статистический параметрический синтез***. Разработана схема, известны допуски на параметры компонентов и допуски на выходные параметры. Необходимо, найти номинальные значения компонентов.
- ***Статистический структурный синтез***. Заказчик задает лишь уровни разброса выходных параметров. Необходимо найти (создать) структуру схемы и определить номинальные значения параметров компонент

Для решения приведенных задач вводится понятие функции качества, зависящей от параметров компонент РЭС $F(\overline{V})$, где $\overline{V}$ – вектор параметров компонент схемы (транзисторов, резисторов, конденсаторов, микросхем и т.п.).

Пусть известен также вектор номинальных значений $\overline{V}_0$, которому соответствует номинальная функция качества $F(\overline{V}_0)$.

Вследствие разброса параметров компонент конкретная реализация вектора $\overline{V}$ отличается от номинальной на вектор отклонений $\Delta\overline{V}$, а функция качества будет иметь вид $F(\overline{V}_0 + \Delta\overline{V})$.

Разложим данную функцию качества в многопараметрический ряд Тейлора вокруг номинала $\overline{V}_0$ в виде

$$F(\overline{V}_0 + \Delta\overline{V}) = F(\overline{V}_0) + \frac{1}{1!}\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial F(\overline{V}_0)}{\partial v_i}\Delta v_i + \frac{1}{2!}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\frac{\partial^2 F(\overline{V}_0)}{\partial v_i \partial v_j}\Delta v_i \Delta v_j + \cdots \qquad ,(1)$$

где Δv_i, $i = 1, 2, \ldots\ldots n$ – компоненты вектора отклонений $\Delta\overline{V}$.

Рассмотрим два случая

1. Случай малых отклонений. Отклонения $\Delta\overline{V}$ малы настолько, что в выражении (1) можно пренебречь всеми членами ряда кроме первых двух. Основным способом учета разброса параметров в этом случае будет являться метод коэффициентов чувствительности (влияния).

2. ***Случай больших отклонений***, т.е. отклонения $\Delta\overline{V}$ настолько велики, что пренебрежение высшими членами ряда невозможно. В этом случае применяют статистические методы обработки (моделирования).

7.2. Метод коэффициентов чувствительности

Из (1) при малых отклонений $\Delta\overline{V}$ следует, что

$$F(\overline{V}_0 + \Delta\overline{V}) = F(\overline{V}_0) + \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial F(\overline{V}_0)}{\partial v_i} \Delta v_i ,$$

или

$$\Delta F(\Delta\overline{V}) = F(\overline{V}_0 + \Delta\overline{V}) - F(\overline{V}_0) = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial F(\overline{V}_0)}{\partial v_i} \Delta v_i . \qquad (2)$$

Частные производные функции качества по параметрам элементов называются коэффициентами чувствительности

$$a_i = \frac{\partial F(\overline{V}_0)}{\partial v_i},, \quad i = 1, 2, \ldots . n. \qquad (3)$$

Нормированные коэффициенты чувствительности

$$b_i = \frac{\partial F(\overline{V}_0)/F(\overline{V}_0)}{\partial v_i/v_{0i}} = a_i \frac{v_{0i}}{F(\overline{V}_0)}$$

Метод приращения

Достоинство – универсальность. Недостатки – значительные вычислительные затраты и невысокая точность.

С учетом (3) выражение (2) принимает вид

$$\Delta F(\Delta\overline{V}) = \sum_{i=1}^{n} a_i \Delta v_i = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{c}_i\,, \qquad (4)$$

где c_i – частные отклонения, характеризующие вклад *i*-ого параметра в изменение функции качества.

Допусковый анализ

Обозначим допуск на соответствующий параметр $\pm\varepsilon_i$, тогда $\Delta v_i = \pm\varepsilon_i$ и допуск на функцию качества запишется в виде:

$$\varepsilon_F = \sum_{i=1}^{n} a_i(\pm\varepsilon_i) \qquad (5)$$

1. «Наихудший случай». Знак перед допуском принимается одинаковым со знаком соответствующего коэффициента чувствительности (т.е. все слагаемые положительны), тогда

$$\varepsilon_F = \sum_{i=1}^{n} |a_i|\varepsilon_i$$

2. «Случай граничных пар». Необходимо вычислить значение ε_F при всех возможных комбинациях знаков допусков ε_i . Для этого требуется вычислить ε_F при 2^n раз.

Допусковый синтез

1. *Метод равных отклонений*. Примем допуски на все параметры одинаковыми $\varepsilon_i = \varepsilon = const$, тогда (4) преобразуется к виду

$$\varepsilon_F = \varepsilon \sum_{i=1}^{n} |a_i|,$$

Откуда следует, что

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_F}{\sum_{i=1}^{n} |a_i|},$$

Разобьем все параметры на две группы: n_1 – «сильновлияющих» и $n_2 = n - n_1$ – «слабовлияющих». Вклад первых оценим коэффициентом k_1, а вклад вторых - k_2 причем $k_2 + k_1 = 1$, тогда допуск для каждой группы получится свой

$$\varepsilon_1 = k_1 \frac{\varepsilon_F}{\sum_{i=1}^{n_1} |a_i|}, \quad \varepsilon_2 = k_2 \frac{\varepsilon_F}{\sum_{i=n_1+1}^{n} |a_i|}.$$

1. Метод равных влияний. Здесь равным для всех параметров принимается не допуск ε, а частное отклонение $c_i = |a_i|\varepsilon_i = c = const$.

Тогда из (4) следует

$$c = \varepsilon_F / n$$

и

$$\varepsilon_i = \frac{\varepsilon_F}{n|a_i|}.$$

Оптимизационные методы

Пусть целевая функция есть функция от допусков на параметры, а в качестве условия ограничения будет выступать выражение (5).

Простейшим случаем является случай максимального суммарного допуска, когда

$$F(\overline{X}) = \sum^{n} \varepsilon_i$$

Оптимизационные методы

И задача допускового синтеза примет вид

$$max = \left\{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i\right\}, i = 1,2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^{n} |a_i| \varepsilon_i = \varepsilon_{F.}$$

Метод Монте-Карло

Допусковый анализ. Алгоритм действий.

1. Выполняется генерация случайной реализации вектора параметров радиоэлектронных устройств $V^{(k)}$ при этом каждая компонента вектора $v_i^{(k)}$, $i = 1, 2, \ldots, n$ генерируется с соответствующими статистическими характеристиками(закон распределения, математическое ожидание , дисперсия, корреляция и т.п.).

2. Проводится моделирование радиоэлектронного устройства с данным вектором параметров и определяется реализация выходных параметров $H^{(k)}$.

3. По полученным выходным характеристикам вычисляется реализация функции качества $F^{(k)}$.

4. Заданное число раз повторяются шаги 1, 2, 3. Число повторений М зависит от требуемой точности статистического моделирования. Для ориентировочной оценки М можно воспользоваться формулой

$$M \geq \frac{1}{\Delta^2(1-P_{Д})},$$

где Δ – требуемая точность,$P_{Д}$ – доверительная вероятность

5. По найденной совокупности реализаций выходных характеристик $H^{(k)}, k = 1,2, \dots M$ выполняется их статистическая обработка. Например, определяется математическое ожидание, дисперсия, границы полей допусков и т.д.

6. По полученным реализациям функции качества $F^{(k)}$ строится гистограмма распределений

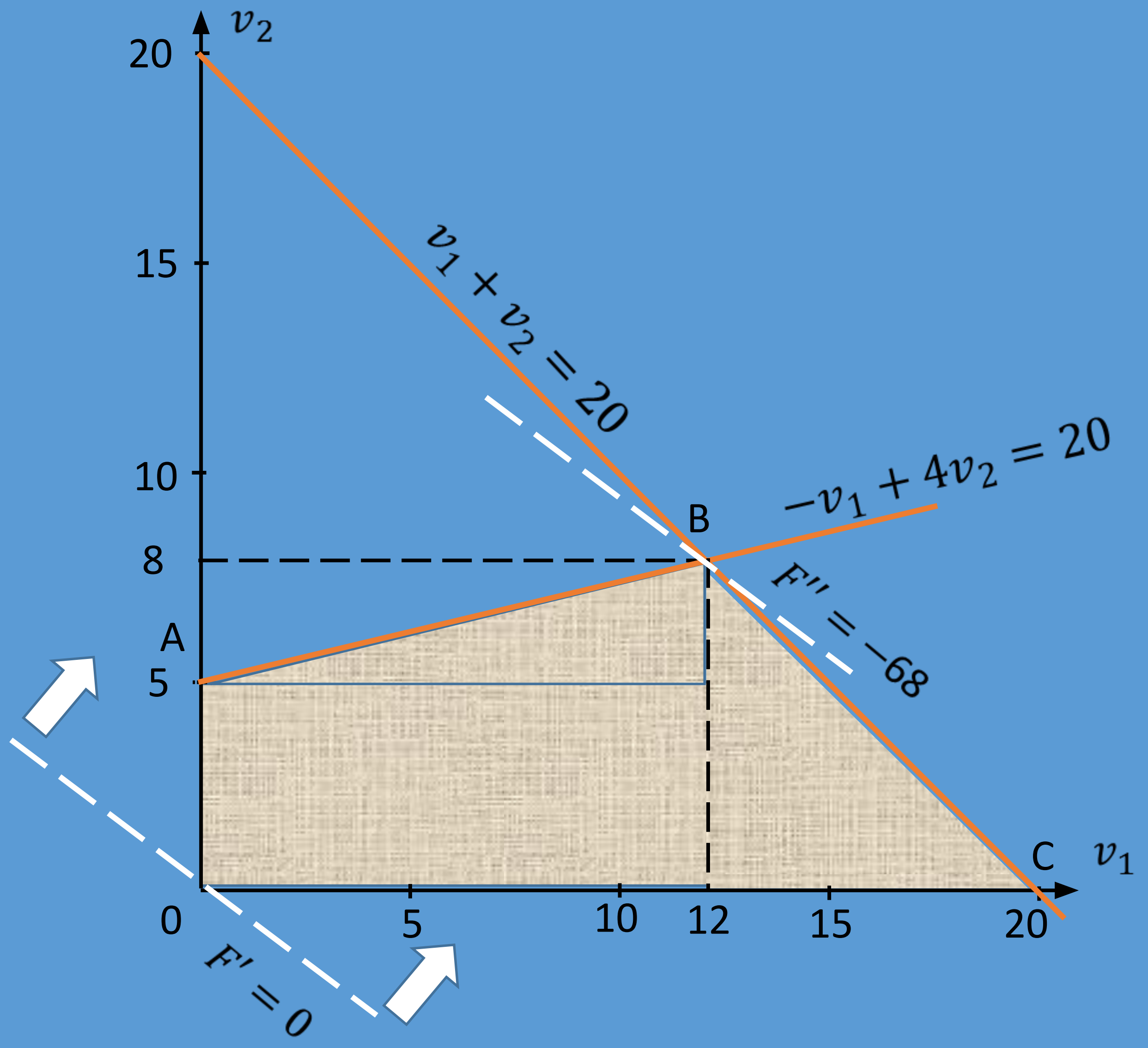
Допусковый синтез. Алгоритм решения.

1. Задаются некоторые исходные разбросы параметров элементов.

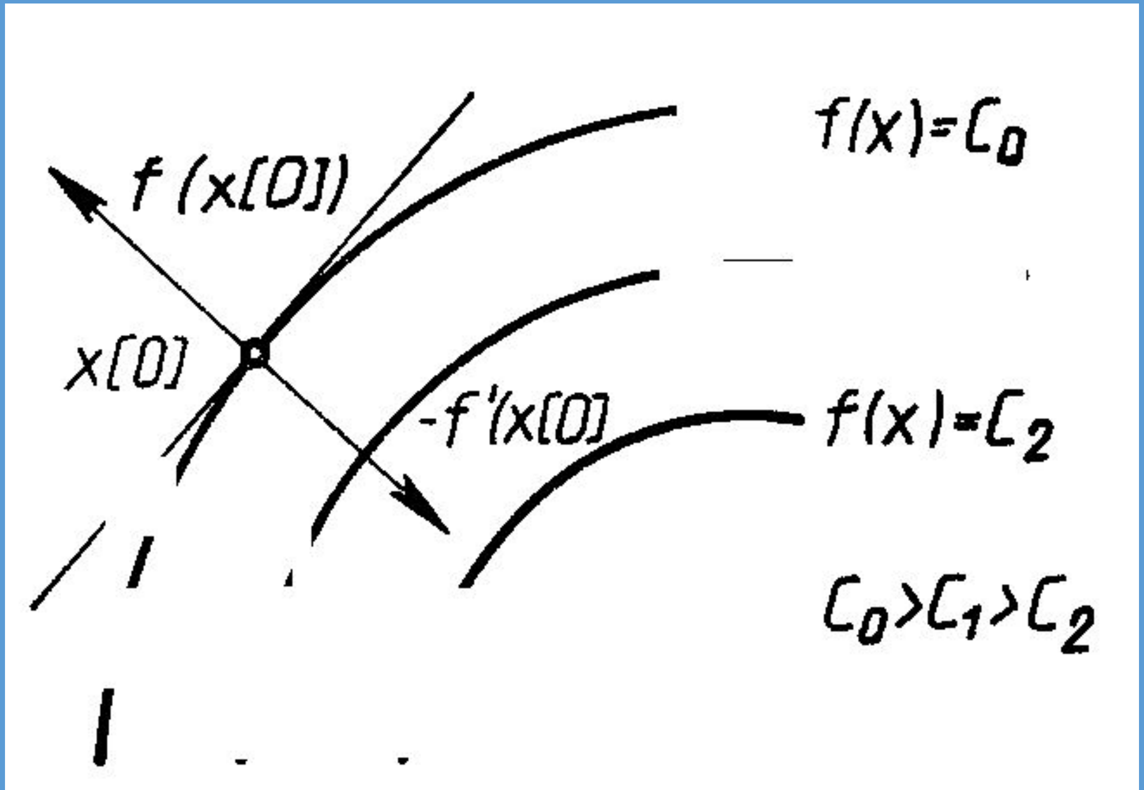
2. Выполняются шаги 1…6 метода Монте Карло для допускового анализа

3. Результаты допускового анализа сравнивают с критериями допускового синтеза

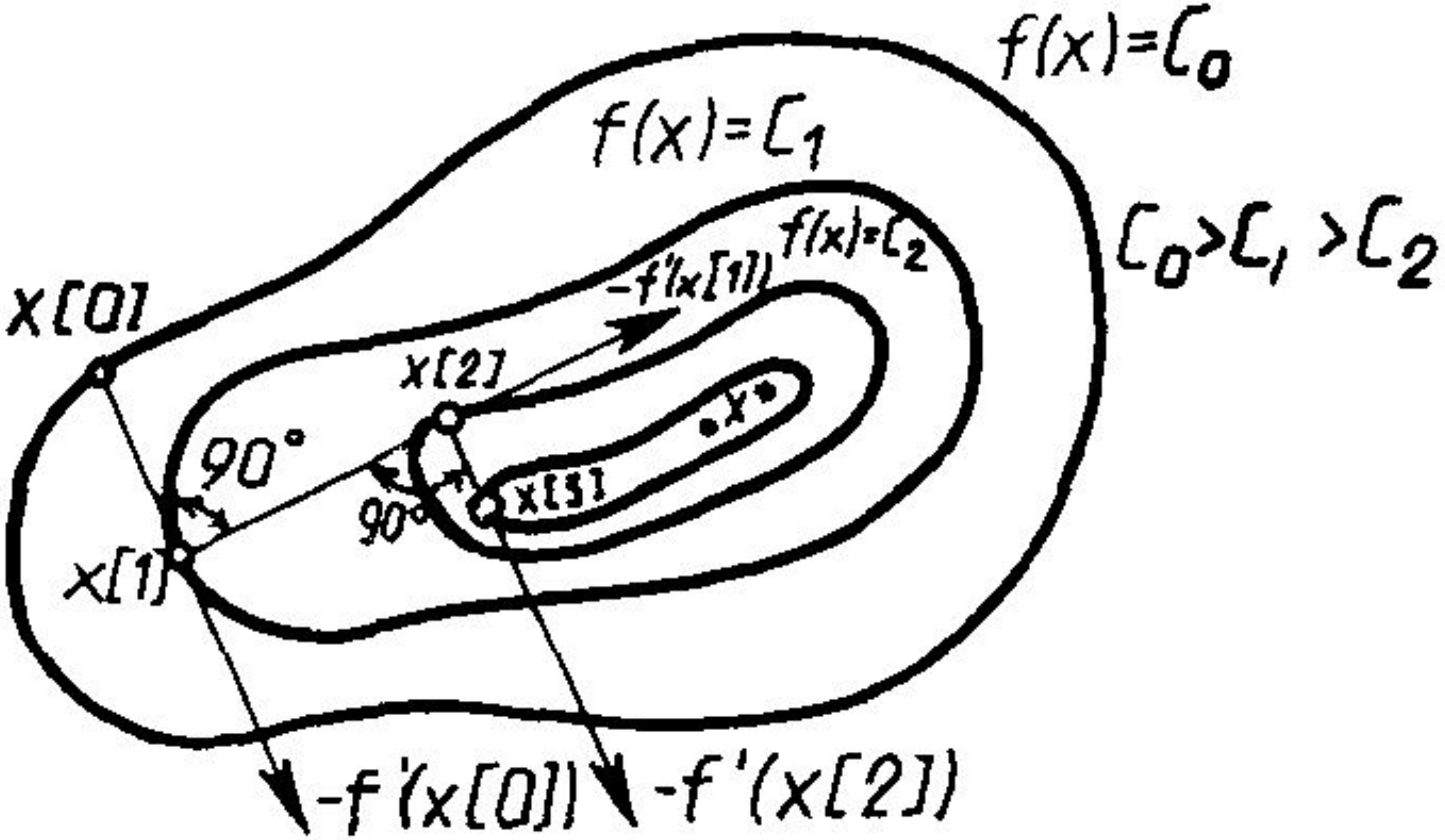
4. Если результат статистического моделирования признан неудовлетворительным, то разбросы некоторых параметров (каких именно можно сказать по максимальным коэффициентам чувствительности) изменяются и алгоритм повторяется, начиная с пункта 2. Если же критерий выполняется, то текущие разбросы параметров принимаются за результаты допускового синтеза.



v_2
20
15
10
8
5
A
B
C
v_1
0
5
10
12
15
20
$v_1 + v_2 = 20$
$-v_1 + 4v_2 = 20$
$F'' = -68$
$F' = 0$



f(x)=C0
f(x[0])
x[0]
-f'(x[0])
f(x)=C2
C0>C1>C2



f(x)=C0
f(x)=C1
f(x)=C2
C0>C1>C2
x[0]
x[1]
x[2]
x[3]
x*
90°
90°
-f'(x[1])
-f'(x[0])
-f'(x[2])

Устойчивость методов численного интегрирования

Пример

$$\frac{du(t)}{dt} = -\frac{u(t)}{\tau}$$

Точное решение уравнение имеет вид: $u(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$, таким образом $u(t) \to 0$ при $t \to \infty$, если цепь устойчивость, т.е. если $\tau > 0$.

Для явного метода Эйлера

$u_1 = U_0 - \frac{\Delta t}{\tau} U_0 = U_0(1 - \frac{\Delta t}{\tau})$ и т.д. $u_n = U_0(1 - \frac{\Delta t}{\tau})^n$

Условие устойчивости решения (при $\tau > 0$)

$$\left|1 - \frac{\Delta t}{\tau}\right| \leq 1 \text{ или } \Delta t \leq 2\tau$$

Реакцию цепи второго и более высокого порядка можно представить в виде суммы экспонент

$$u(t) = \sum_{i=1}^{n} A_i e^{-\frac{t}{\tau_i}}.$$

В этом случае максимальный шаг интегрирования явного метода Эйлера ограничен величиной

$$\Delta t \leq 2\tau_{min},$$

где τ_{min} – минимальная постоянная времени в цепи.

В случае неявного метода Эйлера, получим

$$u_n = \frac{U_0}{(1 + \frac{\Delta t}{\tau})^n}.$$

Если $\tau > 0$ решение будет устойчиво при любых положительных значениях Δt.