



МАКРОМОДЕЛИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ



СОДЕРЖАНИЕ

1. Постановка задачи
 2. Методы построения макромоделей
 3. Формы представления макромоделей
 4. Макромоделли аналоговых схем
- Контрольные вопросы



1. Постановка задачи

- **Макромоделью** называют любую упрощенную модель ИС, реализовать которую можно, лишь написав программу на языке программирования.
- Приставка **<макро>** *свидетельствует о наличие в системе автоматизации проектирования* двух уровней моделей: базовых моделей, являющихся элементарными строительными «кирпичиками», из которых можно построить описание исследуемого объекта , и макромоделей.



1. Постановка задачи

1.1 Определения

- *Макромодели, используемые в программах АсхП,* — это упрощенные представления функциональных узлов ИС, которые с достаточной для конкретного применения точностью отражают статические и динамические характеристики на внешних выводах ИС.
- *Снижение вычислительных затрат* при использовании макромоделей ИС и фрагментов БИС достигается ценой некоторого уменьшения точности моделирования.



1.2 Принципы построения макромоделей

- *Применение схемотехнических макромоделей* можно рассматривать как компромисс между требованиями повышения точности функционально-логического уровня проектирования и снижения вычислительных затрат на схемотехническом уровне проектирования.
- *Наиболее целесообразным* оказывается представление в виде макромоделей подсистем, топология и свойства которых многократно повторяются.



1.2 Принципы построения макромоделей

- *Макромодел*и как цифровых, так и аналоговых элементов разделяются на 2 типа: **физические макромодел**и в виде упрощенных элементарных схем замещения, для которых расчет проводится на основе законов Кирхгоффа, и **информационные макромодел**и, уравнения которых имеют вид функционального описания $y=f(x)$, где y и x — векторы выходных и входных переменных соответственно.



1.3. Иерархия и типовая структура макромоделей

- *Существует иерархическое деление* макромоделей по уровню сложности описываемых узлов.
- *Создание и использование макромоделей* элементарных подсхем оказывается достаточно простым, а сами макромоделели являются универсальными.



2. Методы построения макромоделей

2.1 Основные процедуры

- **Общая методика формирования макромоделей**, предназначенных для АсхП, включает следующие процедуры:
- *Изучение свойств моделируемого объекта* с целью получения информации о тех свойствах, которые д.б. отражены в его макромоделе.
- *Синтез структуры физической или информационной макромодела*, который осуществляется путем либо разработки оригинальной структуры, либо выбора готовой структуры из числа рекомендуемых для данного типа функционального узла.



2.1 Основные процедуры

- *Определение числовых значений параметров макромоделей*, исходя из условий минимизации расхождений между характеристиками объекта или точной модели и аналогичными характеристиками, рассчитанными с использованием макромодели.
- *Оценка точности полученной макромодели.*
- *Представление макромодели в форме*, соответствующей требованиям программы моделирования, для которой предназначена макромодель.



2.2 Методы упрощения

- *Методы упрощения* развернутого компонентного представления цифровой или аналоговой подсхемы, для которой строится макро модель, подразделяются на неформальные и формальные.
- *На основании неформального анализа* производится замена группы элементов подсхемы одним или несколькими нелинейными управляемыми элементами макро модели.



2.2 Методы упрощения

- *С использованием формальных процедур и машинного анализа выделяются наиболее существенные элементы схемы, которые и составляют макромоделю, как правило, для некоторого конкретного режима ее работы.*
- *Одним из формальных подходов к упрощению схемы является исследование реакции на заданный сигнал при поочередной замене каждого компонента развернутой схемы короткозамкнутой или разомкнутой ветвью.*



2.2 Методы упрощения

- В том случае, *когда изменение выходного сигнала* после проведенного элементарного преобразования структуры исходной схемы *малó* (в заданных пределах), соответствующий компонент исключается.
- *Эта процедура осуществляется на ЭВМ* применительно ко всем элементам схемы.
- *Оставшаяся часть схемы используется* как ее макромодель.
- *Достоинство состоит* в ясном физическом смысле элементов макромоделей.



2.3 Методы функционального подобия

- *Этими методами могут быть построены как физические, так и информационные макромоделли аналоговых или цифровых подсхем.*
- *Структура физических макромоделей, состоящих из традиционных схемных элементов, может отличаться от структуры исходной модели, ибо подобие требуется только для внешних рабочих характеристик. В этом случае классификация на физические и информационные модели является условной и отражает лишь форму представления макромоделли.*



2.3 Методы функционального подобия

- **Макромодели**, построенные методом подобия, мало связаны с техническими особенностями изготовления микросхем.
- *Микросхемы одного функционального назначения*, но изготовленные по разной технологии, могут имитироваться одинаковыми макромоделями, полученными аппроксимацией характеристик на внешних выводах.
- *Такие макромодели* не подвержены моральному старению, связанному с быстрым прогрессом технологии.



2.4 Аналитические преобразования

- *Этот подход* к построению макромоделей основан на аналитических преобразованиях уравнений развернутой полной модели.
- *Эти преобразования направлены* на то, чтобы все напряжения на внутренних элементах и все аргументы нелинейных зависимостей оказались выраженными через внешние входные и выходные переменные.



2.4 Аналитические преобразования

- *Число уравнений макромодел* в это случае становится равным числу внешних переменных.
- *Полученные при свертывании выражения* включаются в описания управляемых источников макромодел, которые в результате как бы содержат внутри себя исключенные элементы развернутой модели.
- *Особенностью и главным достоинством такого подхода* является полное сохранение точности моделирования при сокращении в несколько раз числа элементов в макромодел.



2.5 Методы факторизации

- Для решения специальных задач СхМ могут **быть** построены макромоделли с учетом внешних **факторов** Q , к которым относятся эксплуатационные факторы (температура окружающей среды, влажность, воздействия радиации, изменение напряжения питания, параметры входных сигналов); структурные факторы (коэффициенты разветвления по выходу и объединения по входу для логических схем, виды нагрузки); конструктивные факторы (геометрические размеры, конфигурация элементов, параметры линий связи и т.п.).



2.5 Методы факторизации

- *Такие макромоделли строятся как функциональные модели* преобразования входного сигнала в выходной.
- *Форма выходного сигнала* (статического или динамического) описывается аппроксимирующей функцией, параметры которой являются функциями внешних факторов.



3. Формы представления макромоделей

- *Каждая макромодель в программах АсхП рассматривается как неделимое целое и ей соответствуют 2 представления — внешнее и внутреннее.*
- **Внешнее представление макромодели** — *это ее формальное описание на входном языке моделирующей программы.*
- *Включает имя макромодели, по которому осуществляется обращение к соответствующей п/п расчета макромодели, список узлов, к которым в заданном порядке подключаются внешние выходы, а также **перечень параметров макромодели** или **указатель для поиска параметров в базе данных.***



3. Формы представления макромоделей

- **Внутреннее представление макромоделей** — это набор п/п, специальных библиотечных функций и таблиц, взаимодействие которых определяется главной по отношению к ним программой.
- *Внутреннее представление* зависит от организации моделирующей программы.



4. Макромодели аналоговых схем

- *Аналоговые интегральные схемы* предназначены для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону непрерывной функции, в частном случае линейной.
- *Операционные усилители* используются для выполнения математических операций: суммирования, вычитания, интегрирования и дифференцирования, а также при построении всевозможных аналоговых устройств.



4.1 Классификация макромоделей аналоговых ИС

- *Наиболее часто макромоделю подразделяют по области применения.*
- По диапазон рабочих токов, напряжений, частот и тд. - на **статические** и **динамические**, **линейные** и **нелинейные**.
- **Нелинейные статические макромоделю** используются в основном при расчетах режимов аналоговых схем, а также для анализа переходных процессов в схемах, в которых можно пренебречь инертностью макромоделю.



4.1 Классификация макромоделей аналоговых ИС

- **Линейные статические макромодел** используются в простейших случаях, чаще всего при ручных расчетах.
- **Линейные динамические макромодел** предназначены для анализа частотных характеристик в режиме малых сигналов и переходных процессов в рабочих режимах аналоговой схемы.
- **Нелинейные динамические макромодел** наиболее универсальны. Они имитируют работу схем с учетом инертности при любых значениях напряжений и токов на внешних выводах.



4.2 Уровни сложности макромоделей

- По сложности макромодели делятся на четыре уровня в зависимости от их сложности.
- **Первый уровень сложности образуют простейшие макромодели**, отображающие только функционально-логическое назначение ИС.
- Такие модели удобны на этапе предварительного анализа вариантов структуры проектируемой схемы. Они не учитывают схемотехнические и технологические особенности ИС определенного назначения.



4.2 Уровни сложности макромоделей

- Макромодели **второго уровня** сложности *отображают все выходные параметры*, которые входят в ТУ на ИС, и применяются при проектировании устройств, работающих в режимах, указанных в ТУ например выброс тока при переключении ключей, нелинейность входных и выходных характеристик усилителей.
- *Для более точного моделирования характеристик ИС* в качестве составных частей в таких макромоделях используют модели компонентов.



4.2 Уровни сложности макромоделей

- *Такие макромодели применяются в том случае, когда моделируемая ИС входит в анализируемую схему как основной элемент (например, макромодель операционного усилителя в схеме активного фильтра).*
- **Макромодель четвертого уровня сложности** *предоставляет собой эквивалентную схему ИС на уровне компонентов. С ее помощью можно получить практически все характеристики ИС, интересующие разработчика РЭА.*



4.3 Составлении макромоделей

- При составлении макромоделей аналоговых схем применяют эвристические приемы.
- *Первоначально рассматривается идеальная макро модель*, отражающая основную функцию, выполняемую аналоговым устройством; *а затем производится постепенное повышение точности* введением в состав идеальной макро модели дополнительных элементов, характеризующих отклонение или нестабильности выполнения этой функции.



4.3 Составлении макромоделей

- **Макромодели аналоговых схем строятся поблочно**, что соответствует структуре самих схем. Современные аналоговые ИС отличаются регулярностью структуры.
- *Это позволяет выделить* в качестве типовых следующие каскады: дифференциальный усилитель, отражатель тока, выходной усилитель, промежуточный усилительный каскад по схеме с общим эмиттером.



4.3 Составлении макромоделей

- *Для типовых каскадов разрабатываются модели*, при построении которых используются необходимые модели активных полупроводниковых элементов с учетом режима включения, диапазона сигналов и т.п.
- *Модели типовых каскадов совместно с рядом управляемых источников образуют базовый набор* макроэлементов, используемый для создания макромоделей сложных аналоговых и цифро-аналоговых устройств.
- *Использование макромоделей аналоговых схем позволяет повысить эффективность анализа* в процессе автоматизированного схемотехнического проектирования более, чем на порядок.

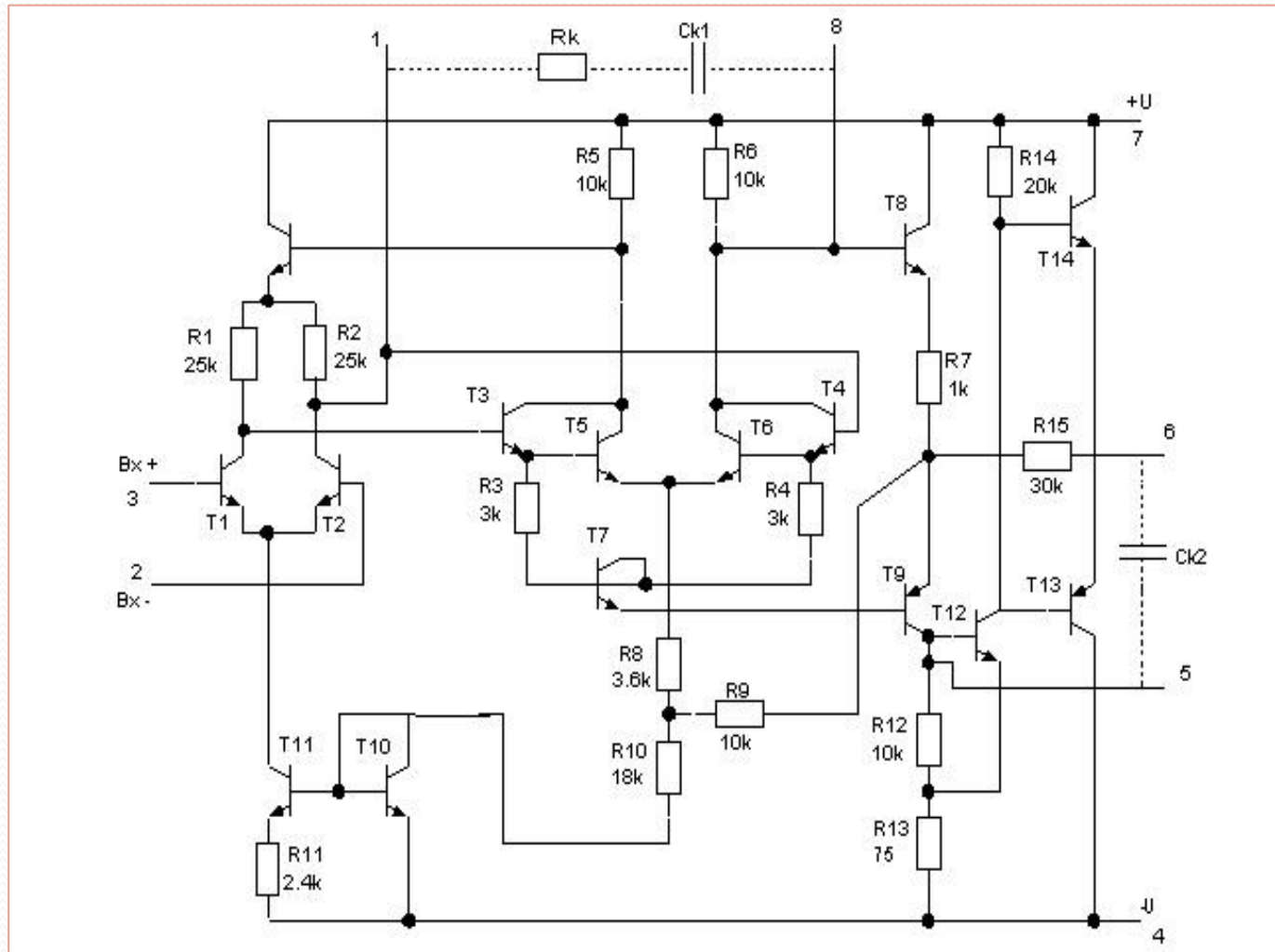


4.4 Трехкаскадный ОУ типа 153УД1

- **Трехкаскадные операционные усилители (ОУ)** типа 153УД1 схема оказалась одной из наиболее удачных реализаций трехкаскадной структуры.
- *Достаточно высокие точностные параметры* в сочетании с несложным технологическим процессом изготовления и, следовательно, небольшой стоимостью обусловили широкое применение этой ИС в разработках аппаратуры.

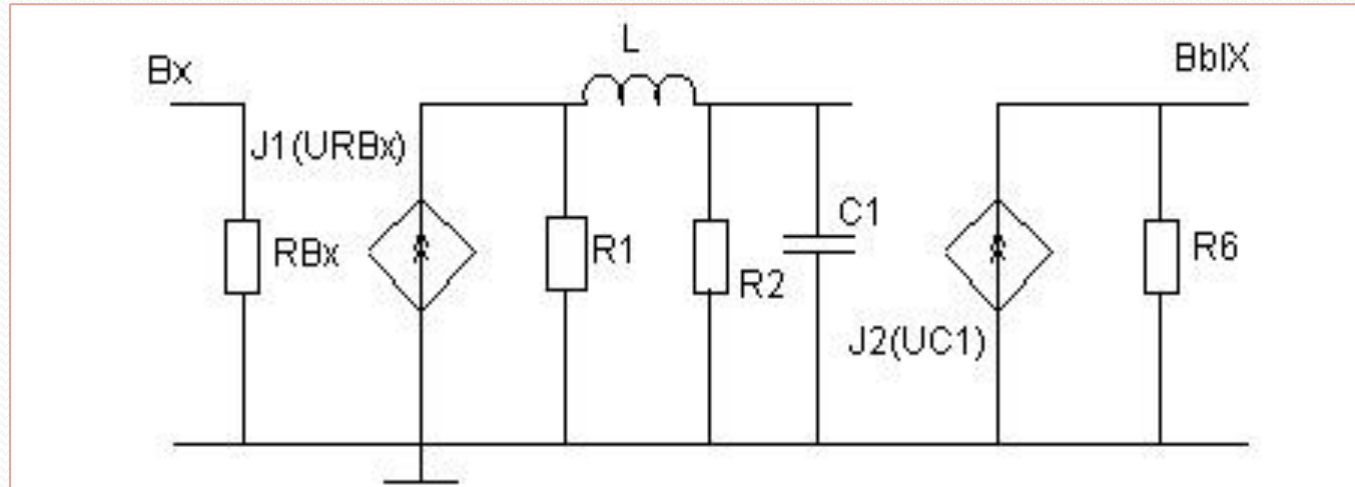


Трехкаскадный ОУ типа 153УД1. Схема электрическая принципиальная.





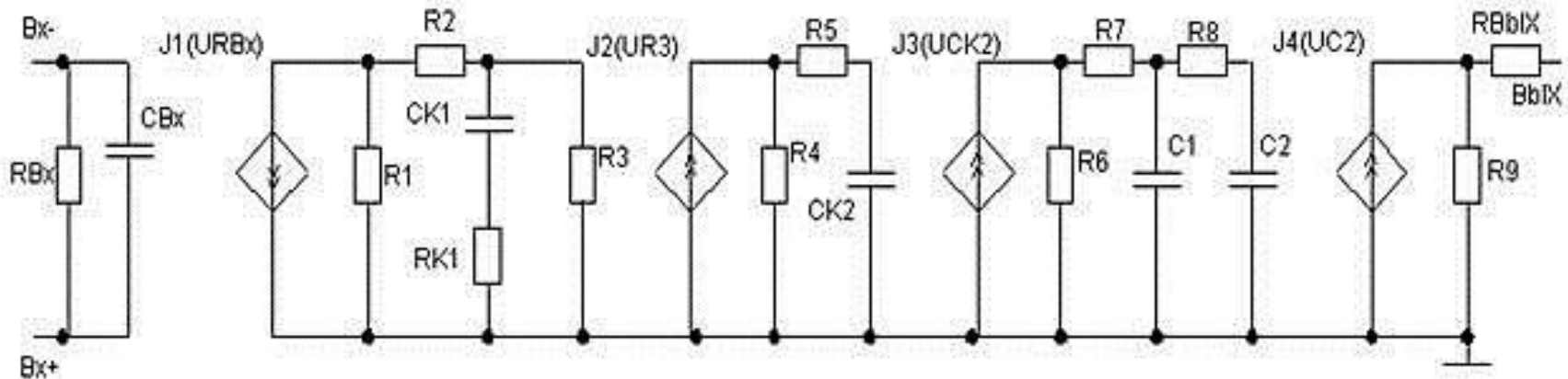
Малосигнальные импульсные характеристики ОУ



- *Входные и выходные сопротивления макромодели* определяются из экспериментальных исследований ОУ с замкнутой петлей обратной связи.
- *Крутизна $J2$ определяется в предположении, что коэффициент передачи напряжения на выход от конденсатора $C1$ равен 1.*



Макромодель ОУ 153УД1



- *Элементы макромодели есть дифференциальное комплексное сопротивление ОУ с учетом монтажной емкости выводов схемы.*
- *Две цепи частотной коррекции* включены в структуру макромодели.
- *Параметры элементов составляющих цепи коррекции, равны параметрам соответствующих элементов макромодели.*



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите основные процедуры формирования макромоделей.
2. Изобразите обобщенную типовую структуру макромоделей.
3. Расскажите о формах представления макромоделей в программах схемотехнического проектирования.
4. Перечислите типовые макроэлементы набора для формирования математической модели любого заданного информационного описания цифровой схемы.
5. Назовите цели расчета статических режимов.
6. Перечислите и охарактеризуйте основные методы моделирования статических режимов.
7. Как формируются вектор токов и матрица узловых проводимостей для модели статического режима.