

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО И
ТРАКТОРНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ
(МАМИ)

1504

Кафедра «Автотракторное электрооборудование»

Одобрено
методической комиссией
факультета ЭМиП

Акимов О.А., Малеев Р.А., Сенькин И.В.

Исследование операционных усилителей

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Аналоговые и цифровые интегральные схемы и микропроцессоры» для студентов специальности «Электрооборудование автомобилей и тракторов».

Москва – 1996

Олег Алексеевич Акимов,
Руслан Алексеевич Малеев,
Игорь Вячеславович Сенькин

Исследование операционных
усилителей
Методические указания к
лабораторным работам по
дисциплине «Аналоговые и
цифровые интегральные схемы и
микропроцессоры», I-39, рис. 19
МАМИ, 1996.

Данные методические указания к выполнению лабораторных работ предназначены для студентов специальности ,180800 «Электрооборудование автомобилей и тракторов» специализации 180802 «Электронные и микропроцессорные системы автомобилей и тракторов», изучающих дисциплину «Аналоговые и цифровые интегральные схемы и микропроцессоры».

В методических указаниях изложены общие методические, рекомендации по выполнению лабораторных работ, описания четырех лабораторных работ, включающие в себя исследования параметров, характеристик и основных схем включения операционных усилителей.

В каждой лабораторной работе приводятся цель, задание, предварительная подготовка и пояснения к работе, порядок выполнения лабораторной работы и содержание отчета по выполненной работе, для самопроверки по каждой работе приведены контрольные вопросы.

Данное пособие является первой частью методических указаний к лабораторным работам по дисциплине «Аналоговые, цифровые интегральные схемы и микропроцессоры».

СОДЕРЖАНИЕ

<u>Общие методические рекомендации по выполнению лабораторных работ</u>	4
<u>Литература</u>	6
<u>Лабораторная работа №1. Исследование операционных усилителей</u>	7
<u>Лабораторная работа №2. Исследование схем включения операционных усилителей</u>	18
<u>Лабораторная работа №3. Исследование аналоговых схем суммирования и вычитания</u>	24
<u>Лабораторная работа №4. Исследование аналоговых схем интегрирования и дифференцирования</u>	30
<u>Приложение 1</u>	36

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Описание лабораторного стенда и мер предосторожности при работе с интегральными микросхемами

Лабораторные работы проводятся на специальных лабораторных стендах (панелях). Каждая панель содержит:

- исследуемые интегральные микросхемы;
- клеммы для подключения внешнего источника двухполярного напряжения питания;
- тумблер включения питания микросхем;
- регулируемые источники двухполярного напряжения;
- резистивные делители напряжения с различными коэффициентами деления;
- резисторы с изменяемой величиной сопротивления;
- конденсатор постоянной емкости;
- эталонные резисторы (шунты) для измерения токов (падения напряжения);
- выводы нулевого потенциала, соединенные со средней точкой внешнего источника двухполярного питания (*).

Для подключения внешнего источника питания (12 В) на каждой панели имеются три клеммы питания (+, *, -), к которым необходимо подключить три провода (белый к +; красный к *; черный к -), связанные общей трехполюсной вилкой. На лабораторных столах имеются соответственно специальные розетки для подключения к внешнему источнику питания.

Будьте внимательны при подключении питания к клеммам!

После подключения клемм питания напряжение присутствует на выходах регулируемых двухполярных источников напряжения, на исследуемые микросхемы питание подается только после включения тумблера питания микросхем. Этот тумблер необходимо включать только после того, как исследуемая схема полностью собрана и проверена! После проведения измерений и при изменении схемы необходимо отключать питание от исследуемых микросхем!

Ни в коем случае не соединять выход исследуемых микросхем накоротко с общими вывода питания (*) и следить за правильным подключением двухлучевого осциллографа к лабораторной панели, помня, что две из четырех его клемм соединены между собой через корпус с осциллографа.

Перед выполнением лабораторной работы необходимо изучить основные предельные параметры исследуемых микросхем. При проведении исследований не допускается превышение предельно допустимых параметров интегральной микросхемы на лабораторной панели.

Не соблюдение выше указанных требований может привести к выходу из строя исследуемой микросхемы!

Каждый элемент лабораторной работы имеет несколько гнезд для соединения с другими элементами и измерительными приборами. Соединение элементов осуществляется с помощью специальных проводов с наконечниками.

Кроме лабораторной панели и соединительных проводов на каждом рабочем месте должны иметься: два электронных цифровых вольтметра, (один с возможностью измерения сопротивления), генератор сигналов низкой частоты двухлучевой осциллограф. Измерение токов осуществляется с помощью эталонных резисторов (шунтов), установленных на лабораторной панели, по падению напряжения на них.

Правила выполнения лабораторных работ в лаборатории

1. Работы в лаборатории выполняются бригады по 4 - 5 человек в каждой.
2. Каждый студент должен заранее подготовиться к выполнению лабораторной работы, изучив описание работы и рекомендуемую литературу, подготовить конспект по работе в соответствии с указаниями по предварительной подготовке к данной работе.
3. Перед началом работы со студентами проводится краткое собеседование по содержанию лабораторной работы. Недостаточно подготовленные студенты не допускаются к работе в лабораторию. Приступать к выполнению лабораторной работы можно только с разрешением преподавателя или лаборанта.
4. При выполнении лабораторной работы целесообразно придерживаться порядка, указанного в описании выполняемой работы.

- Необходимо фиксировать дату проведения лабораторной работы, тип и заводской номер измерительных приборов, с помощью которых были получены экспериментальные данные.
5. После выполнения работы каждый студент должен представить преподавателю полученные экспериментальные данные для проверки и подписи. Только в этом случае лабораторная работа считается выполненной. После этого студенты производят разборку собранных схем и приводят рабочее место в надлежащий порядок.
 6. К следующему занятию каждый студент должен представить письменный отчет по проделанной на предыдущем занятию работе, который выполняется либо в тетради, либо на скрепленных вместе листах. Отчет должен удовлетворять всем требованиям, указанным в разделе “Содержание отчета” описания выполненной лабораторной работы. При отсутствии отчета по лабораторной работе, подписанного преподавателем студент не допускается к защите данной лабораторной работы.

Студенты, не ознакомившиеся с общими методическими рекомендациями по исследованию операционных усилителей, к выполнению лабораторных работ не допускаются!

Литература

1. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник/С.В.Якубовский, Л.И.Ниссельсон, В.И.Кулешова и др. Под ред. С.В.Якубовского. –М.: Радио и связь, 1990, -496 с.
2. Акимов О.А. Аналоговые и цифровые интегральные схемы для автомобилей и тракторов: Учебное пособие. –М.: МАМИ, 1986, -79 с.
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. Учебник для вузов. –М.: Высш. школа, 1982, -496 с;
4. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для вузов. –М.: Высш. школа, 1982, -495 с.

Лабораторная работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Цель работы: исследование принципа действия, основных характеристик и параметров операционных усилителей (ОУ).

Предварительная подготовка

1. Ознакомиться с описанием данной работы, изучить Л.1 с.328-342, Л.2. с.8-29, Л.3 с.142-156, Л.4 с.233-247.
2. Подготовить конспект по работе, начертив схемы для проведения необходимых испытаний, таблицы и формулы для расчетов.

Задание

1. Ознакомьтесь со структурой и принципом действия ОУ.
2. Экспериментально исследовать основные характеристики ОУ.
3. Экспериментально определить основные параметры ОУ.

Пояснение к работе

ОУ представляет собой усилитель постоянного тока с большим коэффициентом усиления по напряжению, имеющий дифференциальный вход (два входных вывода) и один об выход. Название ОУ связана с первоначальным их применением главным образом для выполнения ручных операций над аналоговыми сигналами (сложение, вычитание, интегрирование и т. д.). Однако успехи микроэлектроники позволили освоить массовое производство ОУ в интегральном исполнении в виде монолитных интегральных микросхем, которые по своим размерам и цене практически, но отличаются от обычных транзисторов.

Различают ОУ общего применения, характеризующиеся средними значениями параметров; прецизионные ОУ с суммарной погрешностью не более долей процента и быстродействующие ОУ. По потребляемому току и выходной мощности среди ОУ можно выделить микромощные, мощные и высоковольтные.

В настоящее время ОУ имеют роль многоцелевых элементов при построении аппаратуры седьмого разного назначения. ОУ применяются в усилительной технике, в генераторах сигналов различной формы, в стабилизаторах напряжения и тока, в компараторах, в активных фильтрах, для выполнения различных математических операций и т. д.

Для повышения точности выполнения математических операций ОУ имеет коэффициент усиления по напряжению (до 10^6), большое входное сопротивление (до 10^{12} Ом), низкий уровень линейных и нелинейных искажений, высокую стабильность характеристик. Благодаря практически идеальным характеристикам ОУ реализация различных схем на их основе оказывается значительно проще, чем на отдельных транзисторах. Поэтому во многих областях аналоговой схемотехники

применяются различные схемы на ОУ вместо схем, построенных на отдельных транзисторах.

В составе ОУ условно можно выделить входной, выходной и промежуточный каскад усиления (рис. 1.1). Промежуточные каскады служат для усиления, стабилизации параметров ОУ, балансировки ОУ (установки $U_{\text{вых}}=0$) и коррекции частотной характеристики ОУ.

Выходной каскад ОУ, как правило, представляет собой двухтактный эмиттерный повторитель.

Нумерация внешних выводов ОУ, как и в любой интегральной схеме соответствует порядковому номеру вывода микросхемы относительно зоны ключа, т.е. условного знака (точка, выступ или впадина на корпусе ИС), обозначающего вывод с номером 1.

Входной каскад ОУ представляет собой дифференциальный усилитель и реагирует на дифференциальный сигнал (разность входных напряжений). На рис. 1.2а представлено условное обозначение ОУ. Один из входов усилителя ($U_{\text{вх н}}$) называется неинвертирующим или прямым, а второй ($U_{\text{вх и}}$) – инвертирующим. При подаче сигнала на неинвертирующий вход приращение выходного сигнала совпадает по знаку (фазе) с приращением входного сигнала. При подаче сигнала на инвертирующий вход приращение выходного сигнала имеет обратный знак (противоположный по фазе) по сравнению с приращением входного сигнала. Инвертирующий вход обычно используется для введения в ОУ внешних отрицательных обратных связей. Для обеспечения возможности работы ОУ как с положительными, так и с отрицательными входными и выходными напряжениями применяется двухполярное напряжение питания (+ $U_{\text{пит}}$, - $U_{\text{пит}}$). На схемах питания ОУ можно не показывать, тогда ОУ изображается согласно рис. 1.2б.

Для упрощения расчета и анализа схем с СУ вводится понятие “идеальный ОУ”, у которого коэффициент усиления по напряжению и входное сопротивление стремятся к бесконечности, а выходное сопротивление приближается к нулю.

Основные параметры и характеристики ОУ.

Основной параметр ОУ – коэффициент усиления дифференциального сигнала:

1.1

$$K_u = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta U_{\text{в}}} = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta(U_{\text{вхн}} - U_{\text{вхи}})}$$

В реальных ОУ K_u находится в пределах от 10^3 до 10^6 .

На рис. 1.2 представлена типовая статическая амплитудная передаточная характеристика, которая практически линейно зависит от дифференциального сигнала в диапазоне $-U_{\text{вых min}} < U_{\text{вых}} < +U_{\text{вых max}}$. Этот диапазон называется областью усиления. Угол наклона характеристики определяет K_u . При некоторых значениях дифференциального сигнала ОУ входит в режим насыщения, при котором выходное напряжение близко к напряжению питания, т.е.:

1.2

$$U_{\text{выхmax}} = (0,8...0,9) + U_{\text{пит}}$$

$$U_{\text{выхmin}} = (0,8...0,9) - U_{\text{пит}}$$

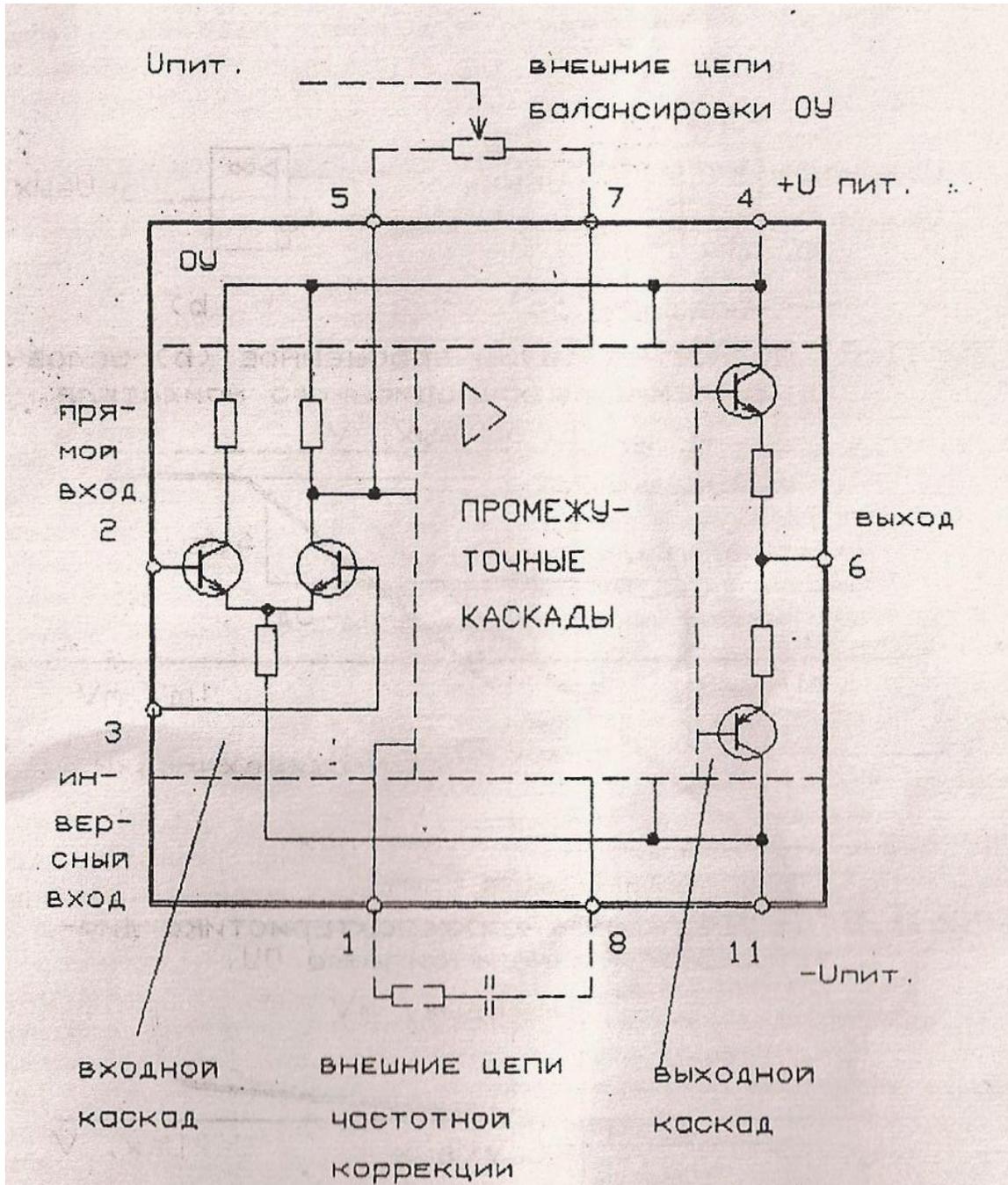


Рис. 1.1. Упрощенная внутренняя структура операционного усилителя.

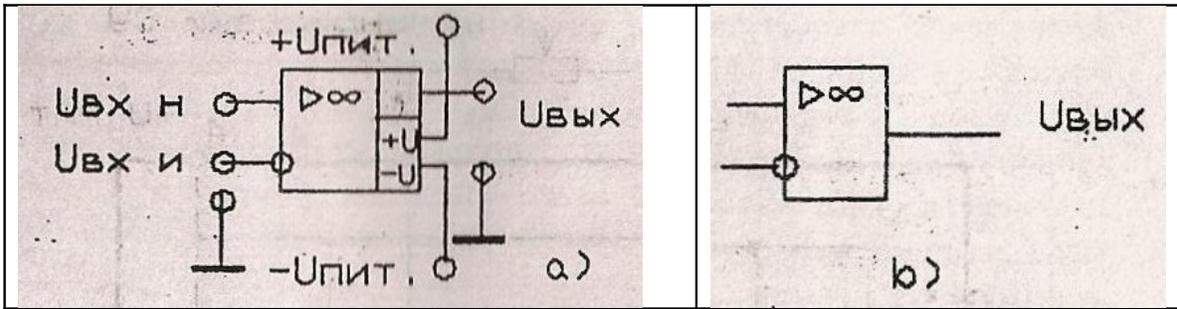


Рис. 1.2. Полное (а) и упрощенное (б) условные обозначения операционного усилителя.

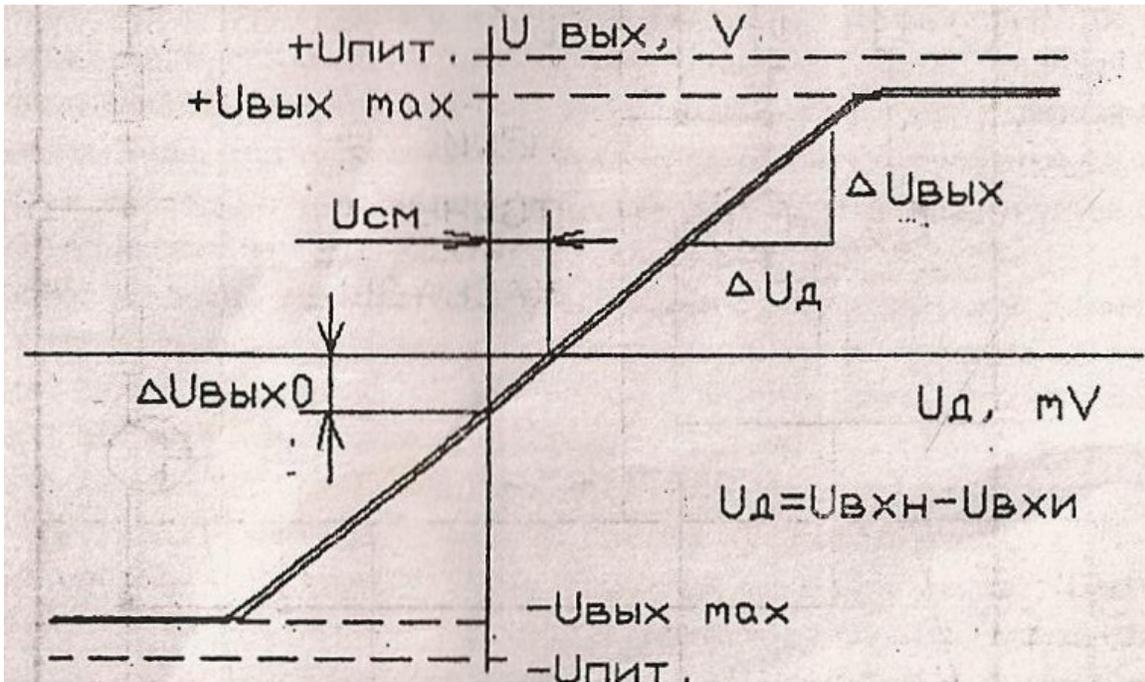


Рис. 1.3. Передаточная характеристика дифференциального сигнала ОУ.

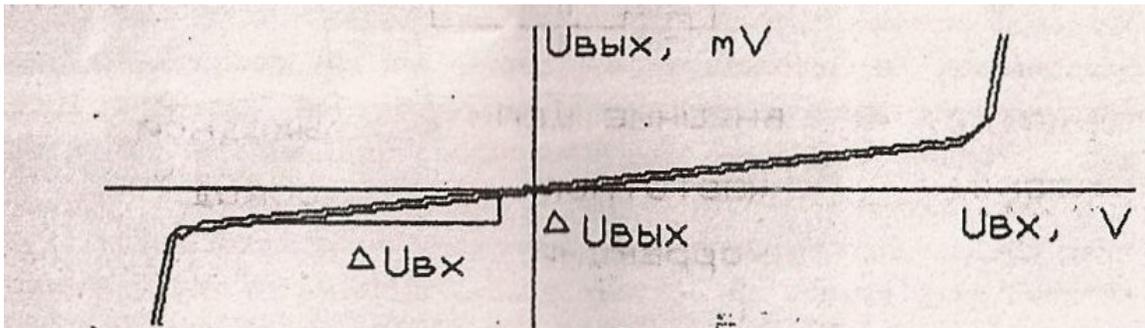


Рис. 1.4. Передаточная характеристика синфазного сигнала ОУ.

Таким образом, минимальное и максимальное выходные напряжения меньше напряжения питания на 1-3 В, что объясняется падением напряжения на выходных транзисторах в режиме насыщения.

Передаточная характеристика идеального ОУ должна проходить через нулевую точку. В реальных ОУ эта характеристика несколько сдвинута влево или вправо от нуля (рис. 3) вследствие разброса параметров элементов ОУ усилителя (в частности транзисторов). Для того, чтобы сделать выходное напряжение равным нулю, необходимо подать на вход ОУ некоторую разность напряжений, которая называется напряжением смещения нуля $U_{см}$. Это величина обычно составляет несколько мВ и может быть скомпенсирована. Выходное напряжение при дифференциальном сигнале, равном нулю называется остаточным напряжением $\Delta U_{вых0}$, которое не превышает 1-2 В.

Если считать, что $U_{см}=0$, то в соответствии с формулой (1.1) статическая передаточная характеристика ОУ описывается уравнением

1.3

$$U_{вых} = K_u U_d = (U_{вхн} - U_{вхл})$$

Таким образом, в режиме усиления выходное напряжение пропорционально разности входных напряжений.

При одинаковых напряжениях на входах ОУ $U_{вхн}=U_{вхл}$ дифференциальное напряжение U_d равно нулю. В соответствии с выражением (1.3) должно быть равно нулю и выходное напряжение $U_{вых}$, однако в реальных ОУ вследствие разброса параметров дифференциального каскада, выходное напряжение не равно нулю т.е. существует коэффициент усиления синфазного сигнала $K_{и\ cф}$ (рис. 1.4).

1.4

$$K_{и\ cф} = \Delta U_{вых} / \Delta U_{вх\ cф}$$

При некоторых достаточно больших значениях напряжений на входах ОУ, превышающих максимально допустимое значение $U_{вх\ max}$, происходит существенное возрастание $K_{и\ cф}$. В допустимом диапазоне входных напряжений, называемом областью ослабления синфазного сигнала, неидеальность ОУ характеризуется параметром, называемым коэффициентом ослабления синфазного сигнала

1.5

$$K_{ос\ cф} = K_u / K_{и\ cф}$$

Для ОУ значения $K_{ос\ cф}$ находятся в пределах $10^4 \dots 10^5$. Обычно $K_{ос\ cф}$ дается в логарифмическом масштабе

1.6

$$K'_{ос\ cф} = 20 \lg K_u / K_{и\ cф} \quad [\text{дБ}]$$

Значения $K'_{ос\ cф}$ для ОУ составляют от 20 до 100 дБ.

При переменных входных сигналах одним из основных параметров ОУ является частотная характеристика (рис. 1.5).

Как видно, с ростом частоты наблюдается уменьшение логарифмического коэффициента усиления вследствие уменьшения коэффициентов усиления транзисторов ОУ и сопротивления паразитных емкостей. Для обеспечения устойчивости ОУ частотная характеристика должна быть такой же, как у фильтра низкой частоты первого порядка, т.е. иметь относительно низкую частоту среза f_{cp} , выше которой K_u обратно пропорционален частоте с углом наклона -20 dB/дек.

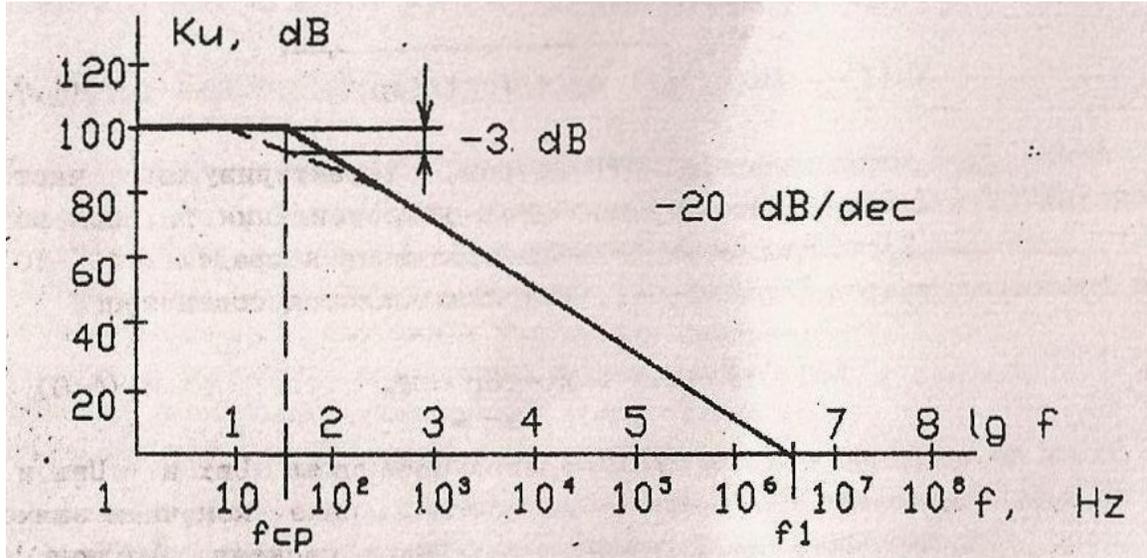


Рис. 1.5. Частотная характеристика ОУ.

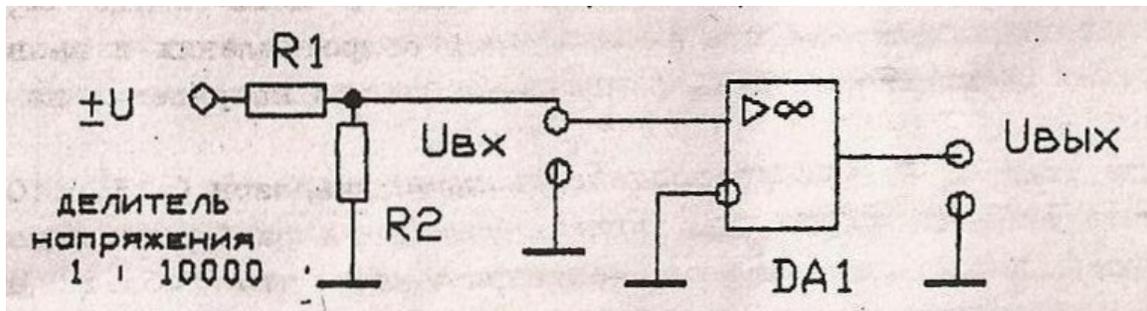


Рис. 1.6. Схема прямого включения ОУ.

Амплитудно-частотная характеристика, т.е. зависимость K_u от частоты определяется выражением:

1.7

$$K_{u(f)} = K_u / \sqrt{1 + (f / f_{cp})^2}$$

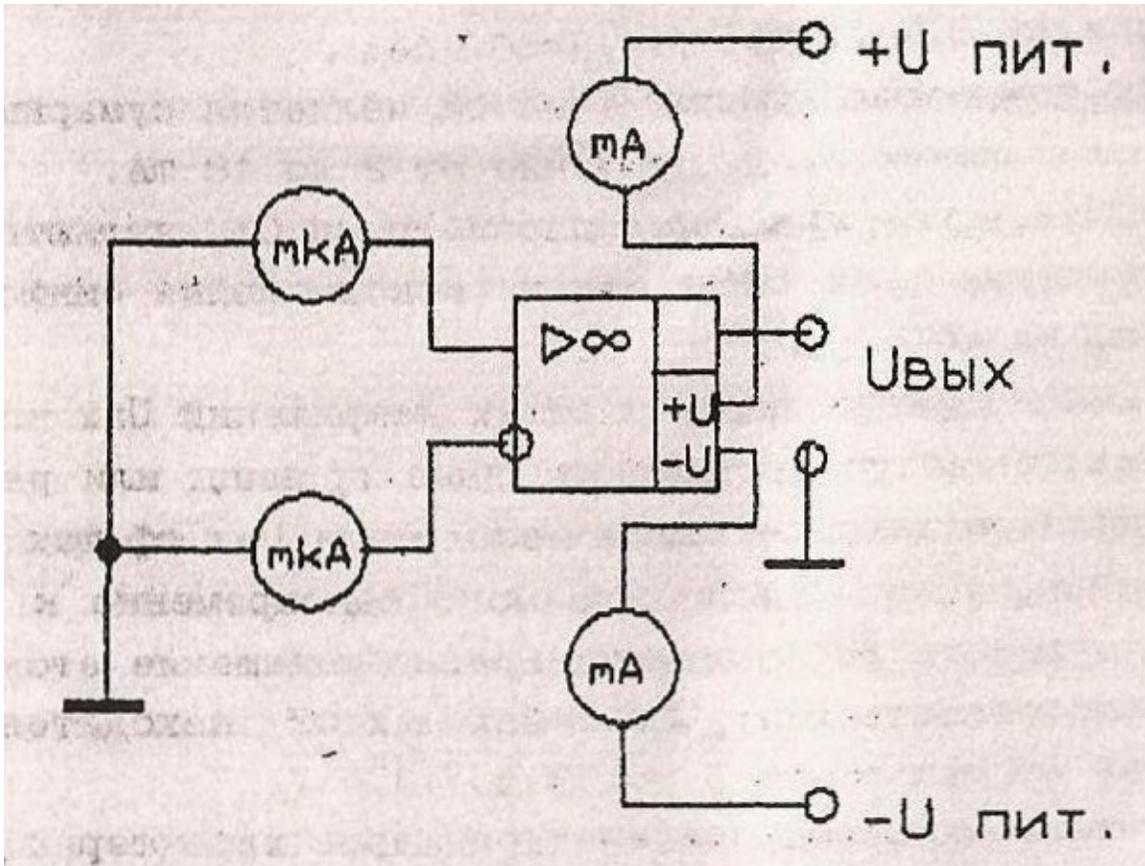


Рис. 1.7. Схема измерения токов.

Одним из основных параметров, характеризующих частотные свойства ОУ является частота единичного усиления f_1 , при которой $K_u=1$. Значения f_1 большинства ОУ находится в пределах 10^6 - 10^7 Hz. Для диапазона частот $f_{cp} < f < f_1$ выполняется соотношение

1.8

$$K_{u(f)} f = K_u f_{cp} = f_1$$

Если на входы ОУ подать нулевой потенциал $U_{ex\ u} = U_{ex\ i} = 0$, могут иметь место входные токи, обусловленные конечным значением входного сопротивления дифференциального каскада. Входные токи, проходя через сопротивления, включенные в цепь входа ОУ, могут создать падения напряжения при разных сопротивлениях и вызвать во входных цепях ОУ появление дифференциального напряжения на входе ОУ.

Входные токи ОУ I_{ex} могут составлять диапазон 0,15...1 nA.

Разность входных токов ΔI_{ex} обусловлена разбросом параметров транзисторов дифференциального каскада, что может вызвать появление дифференциального входного сигнала даже при внешних одинаковых сопротивлениях, выполненных в цепи входов ОУ. ΔI_{ex} ОУ находится в пределах 0,05... $1,5 \times 10^3$ nA.

Максимальный ток, потребляемый ОУ, является суммарным током всех каскадов ОУ и может иметь значение от 2 до 18 mA.

Важными эксплуатационными параметрами ОУ являются максимальные входные напряжения $U_{вх\ max}$ и максимальные синфазные входные напряжения $U_{вх\ сф\ max}$.

Превышения максимальных входных напряжений $U_{вх\ max}$ приводят к выходу параметров ОУ за установленные границы или разрушению ОУ. Максимальное синфазное входное напряжение $U_{вх\ сф\ max}$ - наибольшее значение напряжения, прикладываемого одновременно к обоим входам ОУ относительно нулевого потенциала. Превышение этого параметра нарушает работоспособность ОУ. $U_{вх\ max}$ находится в пределах 1,5 - 15 В, а $U_{вх\ сф\ max}$ от 3 до 13,5 В.

Приведенные выше диапазоны параметров характерны для ОУ широкого применения, параметры прецизионных, быстродействующих, микромощных и мощных ОУ могут иметь существенные отличия.

Порядок выполнения работы

1. Исследование статической передаточной характеристики ОУ (рис. 1.3).

1.1. Собрать схему по рис. 1.6, подключив на вход через делитель с максимальным коэффициентом деления напряжение от двухполярного регулируемого источника напряжения лабораторного стенда. Входное и выходное напряжения ОУ контролировать с помощью цифровых электронных вольтметров ($|U_{вх}| < U_{вх\ max}$).

1.2. Плавно изменяя (по величине и полярности) напряжение, определить точку выхода ОУ из насыщения ($U_{вых}$ начинает изменяться с изменением $U_{вх}$). Зафиксировать несколько точек в таблицу 1.1, изменяя плавно $U_{вх}$ от плюса к минусу (или наоборот) до противоположной точки насыщения ($U_{вых}$ неизменно при изменении $U_{вх}$). При этом необходимо зафиксировать следующие данные: $+U_{вых\ max}$, $-U_{вых\ max}$, $U_{вх}$ при $U_{вых}=0$ и $U_{вых}$ при $U_{вх}=0$.

Таблица 1.1

$U_{вх}$, мВ									
$U_{вых}$, В									
$K_{и}$, дВ									

1.3. По результатам измерений определить коэффициент усиления по напряжению K_u , напряжение смещения $U_{см}$ и остаточное напряжение $\Delta U_{вых0}$.

2. Измерение коэффициента усиления синфазного сигнала (рис. 1.4).

Соединить инвертирующий вход ОУ с неинвертирующим и подключить к ним регулируемый источник постоянного напряжения.

2.2. Изменяя напряжение регулируемого источника по величине и полярности, снять зависимость выходного напряжения ОУ от синфазного сигнала, записывая полученные данные в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

U_{ex} , мВ									
$U_{вых}$, В									
$K_{u\ cф}$									

2.3. По результатам измерений определить коэффициент ослабления синфазного сигнала $K_{oc\ cф}$.

3. Исследование частотной характеристики ОУ (рис.1.5).

3.1. Подать на инвертирующий вход ОУ через делитель с максимальным коэффициентом деления напряжение с регулируемого источника напряжения, равное нулю. На неинвертирующий вход подключить через делитель напряжения генератор синусоидального сигнала. Сигналы на входе и выходе ОУ контролировать с помощью двухлучевого осциллографа.

3.2. Установить величину амплитуды синусоидального сигнала, при котором на выходе ОУ не наблюдается искажение, установив симметрию выходного сигнала установкой $U_{см}$ на инвертирующем входе ОУ с помощью регулируемого источника напряжения.

3.3. Изменяя частоту входного напряжения, снять зависимость выходного напряжения от частоты. Амплитуду входных и выходных сигналов измерять с помощью осциллографа. Результаты измерений занести в таблицу 1.3. Частоту напряжения генератора целесообразно изменять скачками в 2-5 раз.

Таблица 1.3

f , kHz									
U_{ex} , mV									
$U_{вых}$, V									
K_u									

4. Измерение входных токов и разности входных токов (рис.1.7).

4.1. Собрать схему измерения входных токов. В качестве микроамперметров используются эталонные резисторы, по величине падения напряжения на этих резисторах оценивается величина протекающего тока.

4.2. Замерить с помощью цифрового вольтметра входные токи $I_{вх}$ и разность входных токов $\Delta I_{вх}$.

5. Измерение потребляемых токов.

5.1. Собрать схему изменения потребляемых токов (рис. 1.7). В качестве миллиамперметра используются эталонные резисторы.

5.2. Замерить потребляемый ток $I_{пот}$.

6. Сравнить полученные экспериментальным путем параметры ОУ со справочными параметрами, приведенными в приложении 1 и занести их в таблицу 1.4.

Таблица 1.4

параметры ОУ	$U_{вых\ max}$	K_u	$K_{ос\ сф}$	$U_{см}$	$+I_{ex}$	$-I_{ex}$	ΔI_{ex}	$+I_{ном}$	$-I_{ном}$
эксперимент.									
справочные									

Содержание отчета

1. Наименование, цель работы, перечень типов стандартного оборудования и тип исследуемой микросхемы ОУ.
2. Принципиальные схемы проведенных экспериментов.
3. Расчетные формулы.
4. Таблицы 1.1÷1.3 с экспериментальными и расчетными данными и перечень справочных и экспериментальных величин параметров исследованного ОУ.
5. Графические зависимости по данным таблиц 1.1÷1.3.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается отличие воздействия на ОУ дифференциального и синфазного сигнала?
2. От чего зависит выходное напряжение ОУ?
3. Какой физический смысл коэффициента ослабления синфазного сигнала?
4. Дать определение частоты среза и частоты единичного усиления.
5. Определить величину выходного напряжения ОУ, если $U_{ex\ u} = -1\text{mV}$, $U_{ex\ n} = -1,5\text{mV}$, $U_{см} = 1\text{mV}$, а $K_u = 10000$?

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Цель работы: исследование основных схем включения операционного усилителя (ОУ).

Предварительная подготовка

1. Ознакомиться с описанием данной работы, изучить Л. 2 с. 24-25, Л.3 с.156-158
2. Подготовить конспект по работе, начертив схемы для проведения экспериментов, таблицы для данных и алгоритмы расчетов.

Задание

1. Исследовать ОУ в неинвертирующем включении.
2. Исследовать ОУ в инвертирующем включении.
3. Исследовать повторитель напряжения.

Пояснение к работе

Широкое применение ОУ в качестве усилителей, преобразователей сигналов и других электронных устройствах с различными функциями обусловлено возможностью подключения внешних цепей и элементов. Если операционный усилитель охватить глубокой отрицательной внешней обратной связью (ООС), то из-за большого коэффициента усиления ОУ свойства построенной схемы будут определяться уже не параметрами ОУ, а параметрами внешней цепей. Изменением глубины и схемы включения ООС можно в широком диапазоне варьировать такими параметрами аналоговых устройств на ОУ, как коэффициент усиления по напряжению K_u , частотные и переходные характеристики, входное сопротивление и т.д.

При введении ООС (рис.2.1) выходное напряжение усилителя

2.3

$$U_{\text{вых}} = K_u U_{\text{д}} = K_u (U_{\text{вх}} - K_{\text{ос}} U_{\text{вых}})$$

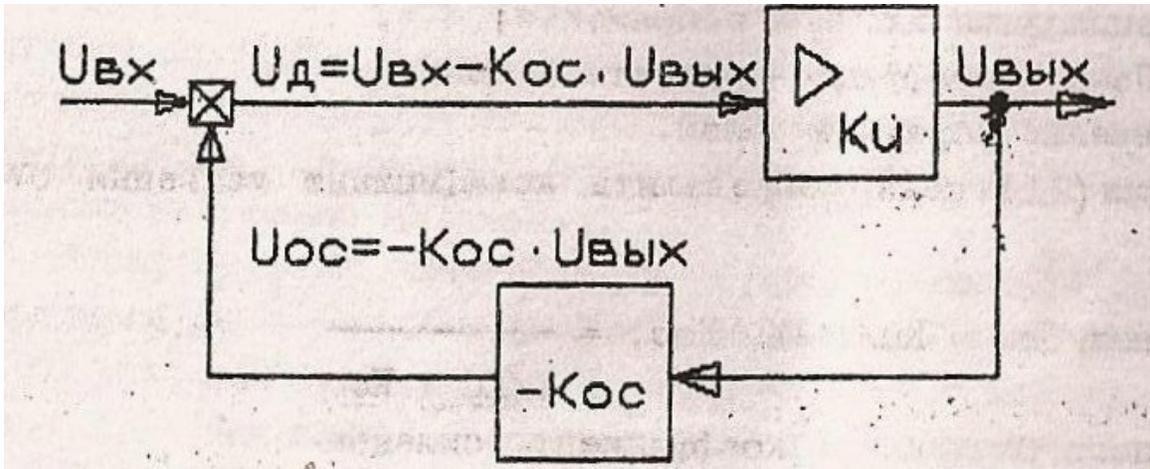


Рис. 2. 1. Функциональная схема ОУ, охваченного ООС.

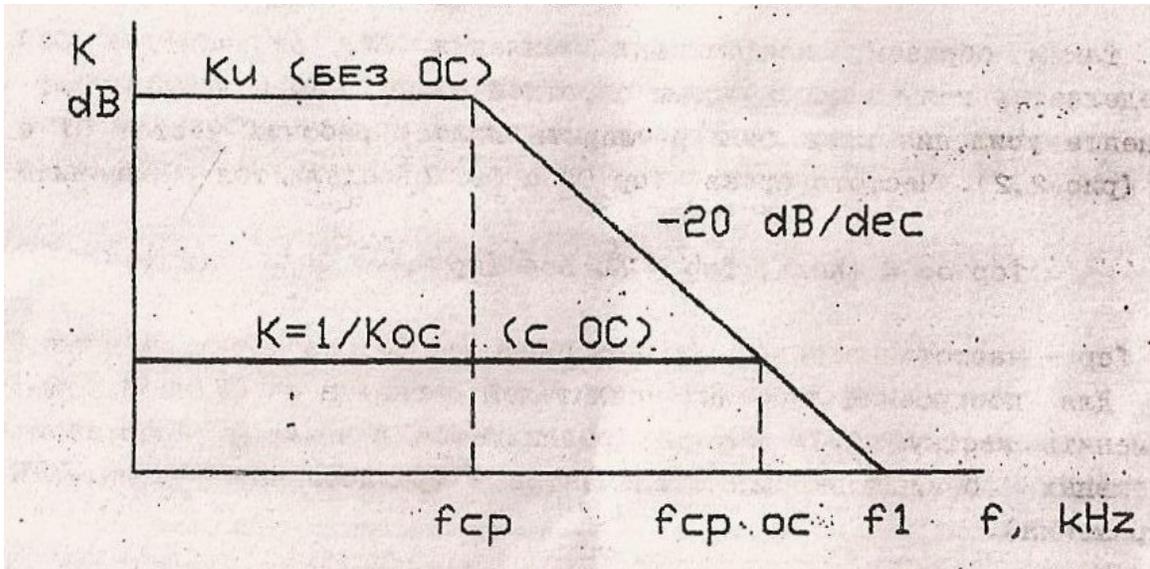


Рис. 2. 2. Частотная характеристика ОУ.

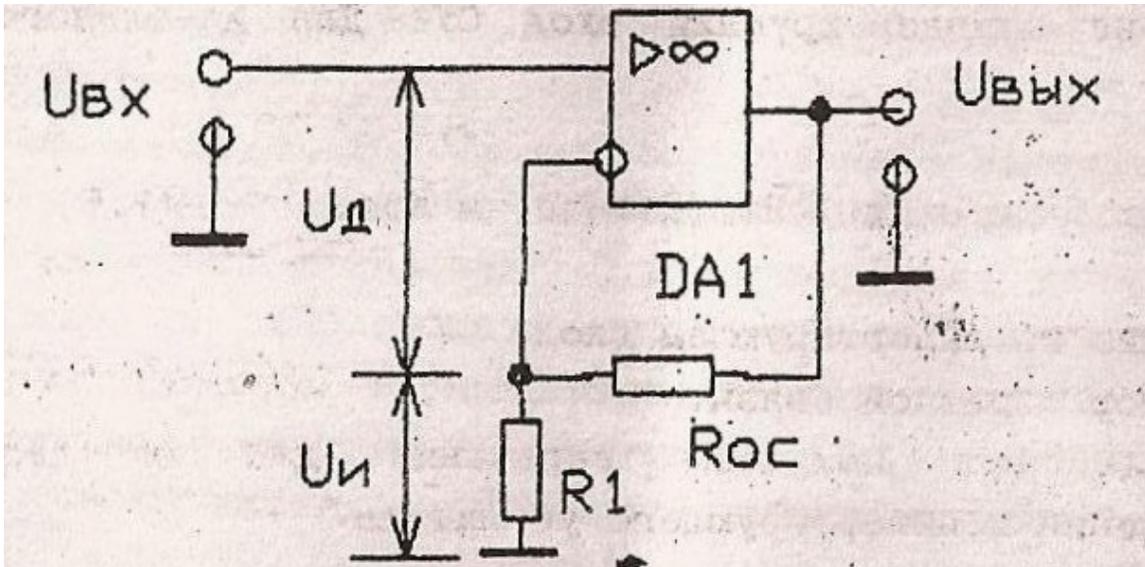


Рис. 2. 3. Схема неинвертирующего усилителя.

где U_d — дифференциальное входное напряжение;
 $K_{oc} = U_{oc} / U_{вых}$ — коэффициент обратной связи;
 U_{oc} — напряжение обратной связи.

Из уравнения (2.1) можно определить коэффициент усиления ОУ, охваченного ООС

2.3

$$K = U_{вых} / U_{вх} = K_u / (1 + K_u \times K_{oc}) = \frac{1}{1/K_u + K_{oc}}$$

Для идеального ОУ ($K_u \rightarrow \infty$) коэффициент усиления

2.3

$$K = 1 / K_{oc}$$

Таким образом, коэффициент усиления ОУ, охваченного СОС, определяется только параметрами обратной связи. Уменьшение коэффициента усиления позволяет расширить полосу рабочих частот ОУ с ООС (рис.2.2). Частота среза f_{cp} ОУ с ООС определяется выражением

2.3

$$f_{cp.oc} = (K_u / K) f_{cp} = K_u K_{oc} f_{cp}$$

где f_{cp} — частота среза (граничная частота) ОУ без обратной связи.

Для построения линейных усилителей сигналов на ОУ необходимо применять жесткую ООС, которая реализуется с помощью простейших пассивных безинерционных элементов (резистивных делителей напряжения).

Неинвертирующий усилитель содержит последовательную ООС по напряжению, подключаемую к инвертирующему входу (рис.2.3). Входной сигнал подается на неинвертирующий вход ОУ. Для идеального ОУ ($K_u \cong \infty$, $U_d \cong 0$)

2.3

$$U_{\text{ex}} / U_{\text{ввх}} = U_{\text{и}} / U_{\text{ввх}} = R_1 / (R_1 + R_{\text{oc}}) = K_{\text{oc}}$$

где $U_{\text{и}}$ – напряжение на инвертирующем входе ОУ;

R_{oc} – резистор обратной связи.

Из уравнения (2.5) получаем выражение для определения коэффициента усиления неинвертирующего усилителя

2.3

$$K = U_{\text{ввх}} / U_{\text{ex}} = (R_1 + R_{\text{oc}}) / R_1 = 1 / K_{\text{oc}}$$

При $R_{\text{oc}}=0$, $R_1=\infty$ коэффициент усиления $K=1$. Таким образом, получаем повторитель напряжения (рис.2.4), имеющий $U_{\text{ввх}} \cong U_{\text{ex}}$. Такие устройства применяются для усиления по току (уменьшения выходного сопротивления), а разница между входным и выходным напряжением составляет несколько милливольт.

Инвертирующий усилитель, у которого выходной сигнал в противофазе с входным, можно реализовать введением параллельной ООС по напряжению на инвертирующий вход ОУ с помощью резистора R_{oc} (рис.2.5). При этом неинвертирующий вход соединен с общим выводом схемы ($U_{\text{и}}=0$), а входной сигнал через резистор R_1 подается на инвертирующий вход. Для идеального ОУ ($R_{\text{ex}}=\infty$, $I_{\text{ex}}=0$, $U_0=0$) для узла 1 по первому закону Кирхгофа можно записать

2.3

$$I_1 = U_{\text{ex}} / R_1 = I_{\text{oc}} = -U_{\text{ввх}} / R_{\text{oc}}$$

Тогда коэффициент усиления инвертирующего усилителя

2.3

$$K = U_{\text{ввх}} / U_{\text{ex}} = -R_{\text{oc}} / R_1 = 1 / K_{\text{oc}}$$

Порядок выполнения работы

1. Исследование неинвертирующего усилителя (рис.2.3).

1.1. Для заданного преподавателем коэффициента усиления рассчитать величину сопротивления резистора R_1 , принимая R_{oc} как наибольшее значение сопротивления, которое можно реализовать на лабораторном стенде ($\cong 30 \div 300$ кОм).

1.2. С помощью измерительного прибора установить выбранные значения сопротивления, соответствующих резисторов и собрать схему по рис.2.3, снять статическую передаточную характеристику ($U_{\text{ввх}} = f(U_{\text{ex}})$). Результаты эксперимента занести в таблицу 2.1.

1.3. Подключив ко входу схемы (рис.2.3) генератор синусоидального сигнала и используя для измерения амплитуды входного и выходного сигналов двухлучевой осциллограф, снять частотную характеристику в максимально возможном диапазоне частот. Результаты занести в таблицу 2.2.

2. Исследование инвертирующего усилителя (рис.2.5).

2.1. Для заданного преподавателем коэффициента усиления рассчитать величину сопротивления резистора R_1 , принимая R_{oc} как наибольшее значение

сопротивления, которое можно реализовать на лабораторном стенде ($\cong 20 \div 200$ кОм).

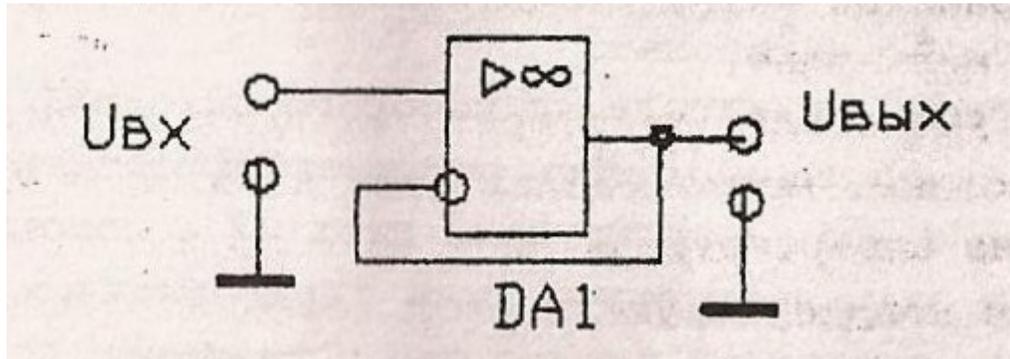


Рис. 2. 4. Схема повторителя напряжения.

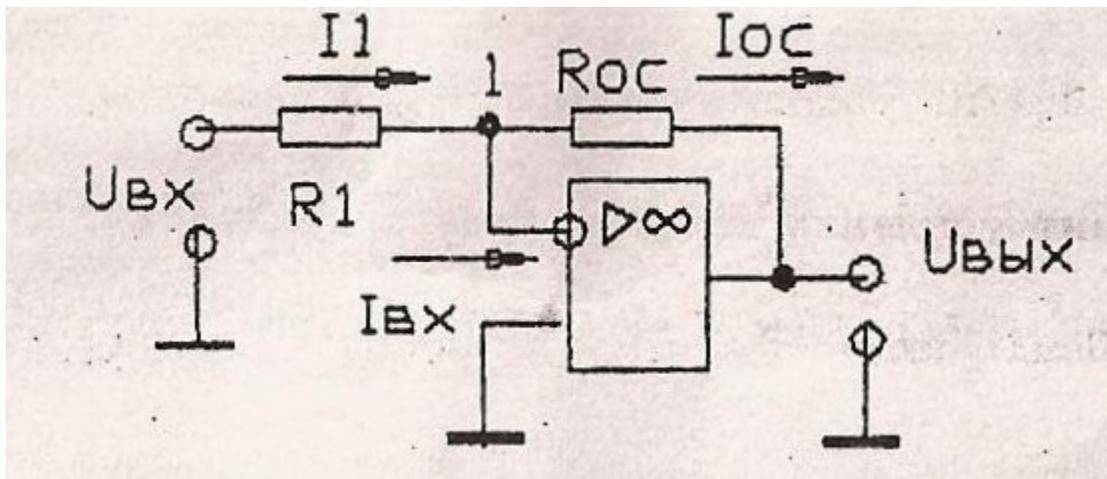


Рис. 2. 5. Схема инвертирующего усилителя.

Таблица 2. 1

$R_{0с}$, кОм		$U_{вх}$, мВ					
R_1 , кОм		$U_{вых}$, В					
$K_{расч}$		$K_{эксп}$					

Таблица 2. 2

f , кГц							
$U_{вх}$, мВ							
$U_{вых}$, В							
K							

2.2. С помощью измерительного прибора установить выбранные значения сопротивлений соответствующих резисторов и собрать схему по [рис.2.5](#), снять статическую передаточную характеристику ($U_{вых}=f(U_{вх})$). Результаты эксперимента занести в таблицу 2.3, аналогичную [таблице. 2.1](#).

3. Исследование повторителя напряжения ([рис.2.4](#)).

3.1. Собрать схему по [рис.2.4](#) и снять статическую передаточную характеристику ($U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$). Результаты эксперимента занести в таблицу 2.4, подобную [таблице 2.1](#), но без указания величины R_{oc} и R_l .

Содержание отчета

1. Наименование, цель работы, перечень измерительного оборудования, применяемого в экспериментах и тип исследуемых ИС.
2. Принципиальные схемы проведенных экспериментов.
3. Расчетные формулы и необходимые расчеты.
4. Таблицы 2.1÷2.4 с экспериментальными и расчетными данными.
5. Графики экспериментальных зависимостей по таблицам 2.1÷2.4.

Контрольные вопросы

1. Как определить частоту среза ОУ? От чего она зависит?
2. Как влияет величина сопротивления R_{oc} на и частотные характеристики неинвертирующего усилителя.
3. От чего зависит коэффициент усиления неинвертирующего усилителя?
4. Назовите области применения повторителей напряжения на ОУ.

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ СХЕМ СУММИРОВАНИЯ И ВЫЧИТАНИЯ

Цель работы: изучение схем суммирования и вычитания аналоговых сигналов с применением операционного усилителя (ОУ).

Предварительная подготовка

1. Ознакомиться с описанием данной работы, изучить Л.2 с. 25, Л.3 с.158-159, Л.4 с.253-254.
2. Подготовить конспект по работе, начертив схемы для проведения экспериментов, таблицы для данных и алгоритмы расчетов.

Задание

1. Исследовать схемы суммирования сигналов на ОУ.
2. Исследовать схемы вычитания сигналов на ОУ.
3. Исследовать универсальную схему суммирования и вычитания на ОУ.

к работе

Для суммирования не скольких напряжений можно применить ОУ в инвертирующем включении. Входные напряжения через добавочные резисторы подаются на инвертирующий вход ОУ (рис.3.1). Состояние ОУ можно описать, пользуясь его идеализированными характеристиками:

$R_{вх} \rightarrow \infty$, поэтому токи от источников сигналов не ответвляются на входы ОУ;

$K_{и} \rightarrow \infty$, вследствие этого, напряжение между входами ОУ, охваченного ООС, близко к нулю. Используя первое правило на основании первого закона Кирхгофа для точки А ОУ, охваченного ООС, можно записать

3.4

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_0 = 0$$

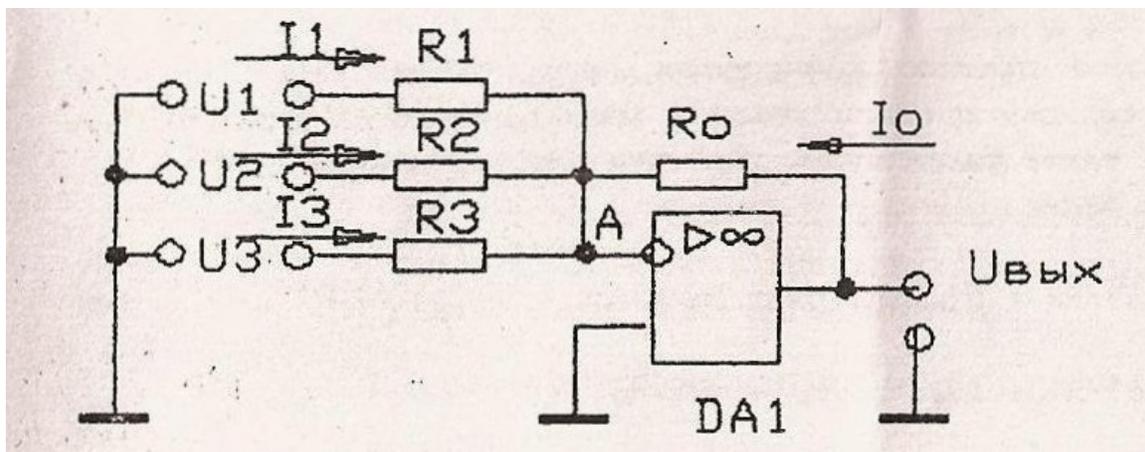


Рис. 3. 1. Схема суммирования на ОУ

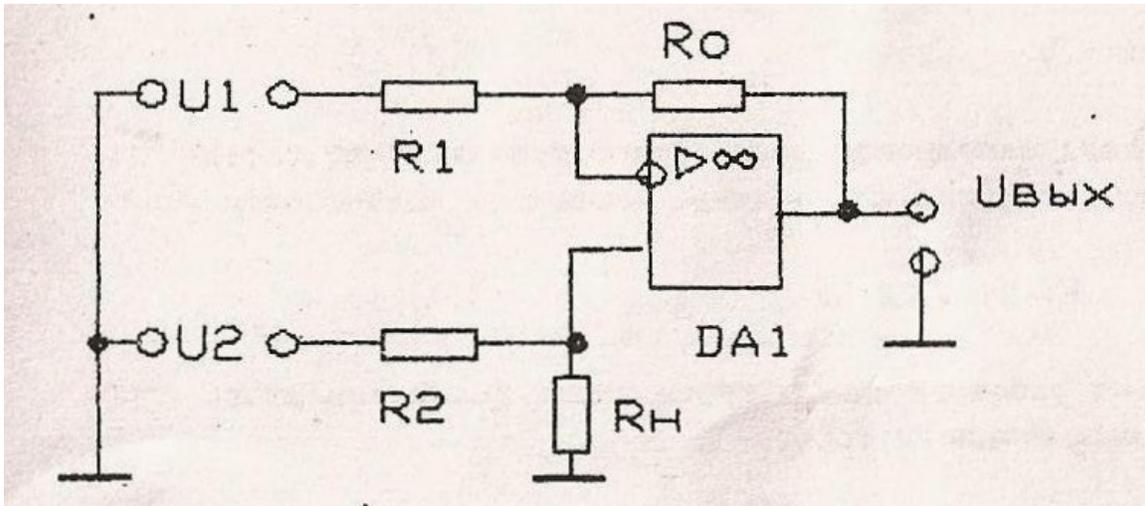


Рис. 3. 2. Схема вычитания на ОУ

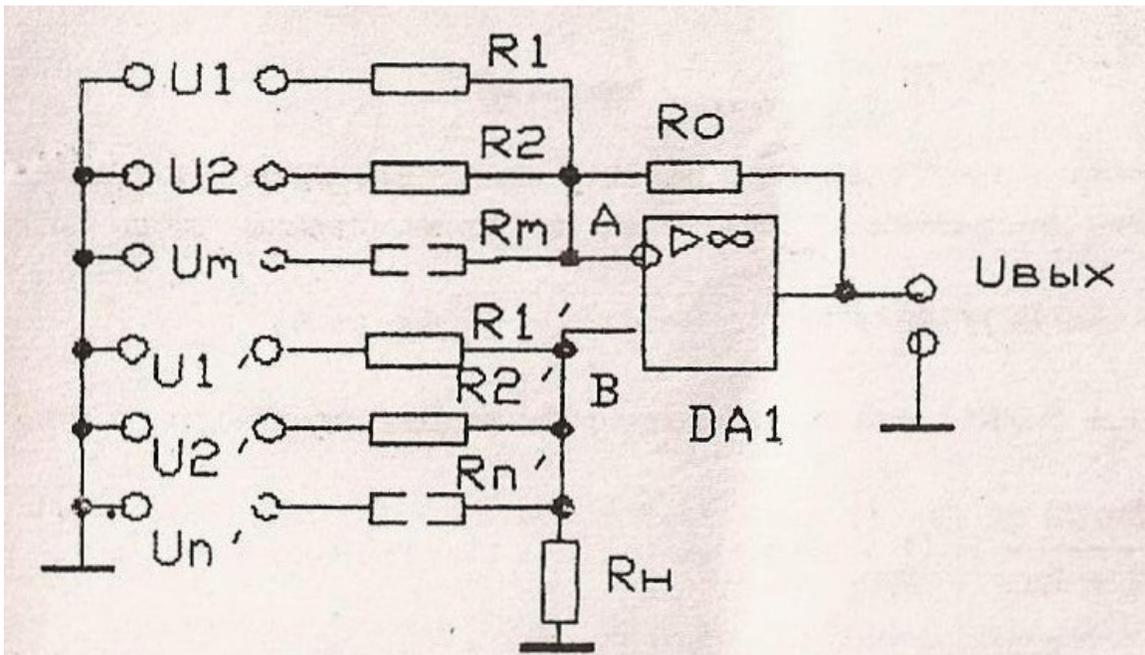


Рис. 3. 3. Комбинированная схема на ОУ.

Используя второе правило и учитывая, что прямой вход ОУ, охваченного ООС, соединен с общим выводом ($U_{ii}=0$), потенциал инвертирующего входа ОУ также вен нулю. Учитывая это, уравнение (3.1) можно переписать в виде

3.4

$$U_1 / R_1 + U_2 / R_2 + U_3 / R_3 + U_{\text{вых}} / R_0 = 0$$

откуда

$$-U_{\text{вых}} = U_1 R_0 / R_1 + U_2 R_0 / R_2 + U_3 R_0 / R_3$$

при $R_0 = R_1 = R_2 = R_3$

3.4

$$-U_{\text{вых}} = U_1 + U_2 + U_3$$

Для вычитания двух напряжений можно использовать схему, представленную на [рис. 3.2](#) для нее справедливо следующее соотношение

3.4

$$U_{\text{вых}} = K_1 U_1 + K_2 U_2$$

При $U_2=0$ схема работает как инвертирующий усилитель напряжения U_1 , выходное напряжение которого

3.4

$$U_{\text{вых}} = -U_1 R_0 / R_1$$

откуда следует, что

$$K_1 = -R_0 / R_1$$

При $U_1=0$ схема представляет собой электрометрический усилитель с делителем напряжения. Напряжение на прямом входе ОУ составляет:

3.4

$$U_n = R_n U_2 / (R_2 + R_n)$$

оно усиливается в $(1+R_0/R_1)$ раз и составляет на выходе ОУ

3.4

$$U_{\text{вых}} = \frac{R_n U_2}{R_2 + R_n} (1 + R_0 / R_1)$$

отсюда

3.4

$$K_2 = R_n (1 + R_0 / R_1) / (R_2 + R_n)$$

Если принять $R_0=R_1=R_2=R_n$, то $K_1=-1$ и $K_2=1$, откуда следует, что выходное напряжение будет равно

3.4

$$U_{\text{вых}} = U_2 - U_1$$

На [рис. 3.3](#) представлена универсальная комбинированная схема, предназначенная для суммирования и вычитания любого числа входных напряжений. Для узла А можно записать выражение

3.4

$$\sum_{i=1}^m \frac{U_i - U_A}{R_i} = -\frac{U_{\text{вых}} - U_A}{R_0}$$

преобразуя которое, получим

3.4

$$\sum_{i=1}^m \frac{R_0}{R_i} U_i - U_A \sum_{i=1}^m \left(\frac{R_0}{R_i} + 1 \right) + U_{\text{вых}} = 0$$

Для узла В также можно записать выражение

3.4

$$\sum_{j=1}^n \frac{U_j - U_B}{R_j} = \frac{U_B}{R_n} = 0$$

после преобразования, которого будем иметь

3.4

$$\sum_{j=1}^n \frac{R_n}{R_j} U_j - U_B \sum_{j=1}^n \left(\frac{R_n}{R_j} + 1 \right) = 0$$

Если выполняется условие

$$\sum_{i=1}^m \frac{R_0}{R_i} = \sum_{j=1}^n \frac{R_n}{R_j}$$

и учитывая, что $U_A = U_B$ после вычитания (3.11) из (3.13), получим

$$U_{\text{вых}} = \sum_{j=1}^n \frac{R_n}{R_j} U_j - \sum_{i=1}^m \frac{R_0}{R_i} U_i$$

Это значит, что данная схема позволяет производить суммирование и вычитание любого числа входных напряжений.

Порядок выполнения работы

1. Исследование схемы суммирования аналоговых сигналов (рис.3.1).

1.1. Для исследования схемы суммирования выбрать и установить величины сопротивлений резисторов $R_0, R_1 \div R_3$ и заданные преподавателем входные напряжения $U_1 + U_3$ на двухполярных источниках напряжения лабораторной панели, пользуясь цифровыми измерителями приборами.

1.2. Собрать схему в соответствии с рис.3.1, и после этого подкорректировать значение входных напряжений $U_1 \div U_3$. Провести измерения выходного напряжения $U_{\text{вых}}$. Исходные, расчетные и экспериментальные данные занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Вариант	U_1	U_2	U_3	$U_{\text{вых}}$		R_0	R_1	R_2	R_3
				расч.	измерен.				

2. Исследование схемы вычитания аналоговых сигналов (рис.3.2).

2.1. Для исследования схемы вычитания выбрать и установить величины сопротивлений резисторов R_0, R_n, R_1, R_2 и заданные преподавателем входные

напряжения U_1, U_2 на двухполярных источниках напряжения лабораторной панели, пользуясь цифровыми измерительными приборами.

2.2. Собрать схему в соответствии с [рис. 3.2](#), и после этого подкорректировать значение входных напряжений U_1, U_2 . Провести измерения выходного напряжения $U_{вых}$. Исходные, расчетные и экспериментальные данные занести в [таблицу 3.2](#).

Таблица 3. 2

Вариант	U_1	U_2	$U_{вых}$		R_0	R_1	R_2	R_n
			расч.	измерен.				

3. Исследование универсальной комбинированной схемы ([рис.3.3](#))

3.1. Для исследования универсальной схемы выбрать и установить величины сопротивлений необходимых резисторов и заданные преподавателем входные напряжения на двухполярных источниках напряжения лабораторной панели, пользуясь цифровыми измерительными приборами.

3.2. Собрать схему в соответствии с [рис. 3.3](#), и после этого подкорректировать значения входных напряжений. Провести измерения выходного напряжения $U_{вых}$. Исходные, расчетные и экспериментальные данные занести в [таблицу 3.3](#).

Таблица 3. 3

U_1	U_2	U_3	U_4	$U_{вых}$		R_0	R_n	R_1	R_2	R_1'	R_2'
				расч.	измерен.						

Содержание отчета

1. Наименование, цель работы, перечень измерительного оборудования, применяемого в экспериментах и тип исследуемых ИС.
2. Принципиальные схемы проведенных экспериментов.
3. Расчетные формулы и необходимые расчеты.
4. Таблицы 3.1÷3.3 с экспериментальными и расчетными данными.
5. Выводы по проведенным экспериментам.

Контрольные вопросы

1. Чем определяется напряжение между входами идеального ОУ:
 - 1). охваченного ООС;
 - 2). не охваченного ООС?
2. Какими соотношениями связаны входные и выходные напряжения для:
 - 1). инвертирующего сумматора;
 - 2). схемы вычитания;
 - 3). универсальной схемы суммирования и вычитания?

Лабораторная работа №4

ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ СХЕМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ И ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ

Цель работы: изучение схем интегрирования и дифференцирования аналоговых сигналов с применением операционного усилителя (ОУ).

Предварительная подготовка

1. Ознакомиться с описанием данной работы, изучить Л.2 с.26, Л.3. с.159-160, Л.4 с.330-333.
2. Подготовить конспект по работе, начертив схемы для проведения экспериментов, таблицы для данных и алгоритмы расчетов.

Задание

1. Исследовать схемы интегрирования сигналов на ОУ.
2. Исследовать схемы дифференцирования сигналов на ОУ.

Пояснение к работе

Интегратор, построенный на основе инвертирующего усилителя, приведен на [рис. 4.1](#).

В усилителе резистор обратной связи R_0 заменен конденсатором C . В этом случае для идеального ОУ ($R_{ex}=\infty$, $I_{ex}=0$, $K_u=\infty$, $U_0=0$) для узла А

4.5

$$iR = iC \text{ или } U_{ex}(t) / R = -CdU_{вых}(t) / dt$$

Из уравнения (4.1) получаем

4.5

$$U_{вых}(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_{ex}(t) dt + U_0(0) = -\frac{1}{\tau} \int_0^t U_{ex}(t) dt + U_0(0)$$

где $U_0(0)$ - начальное выходное напряжение;
 $\tau=RC$ – постоянная времени.

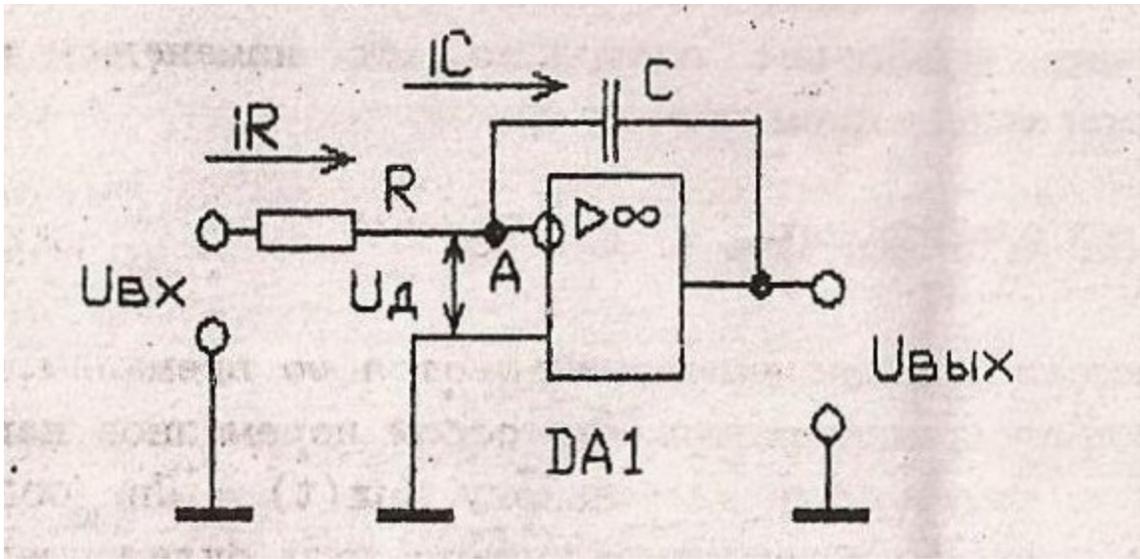


Рис. 4. 1. Схема инвертирующего интегратора

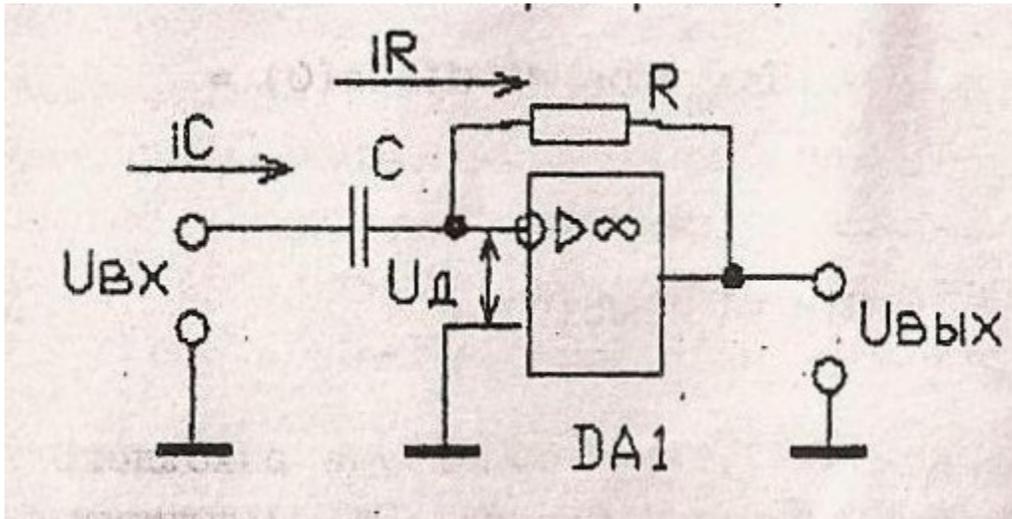


Рис. 4. 2. Схема инвертирующего дифференциатора

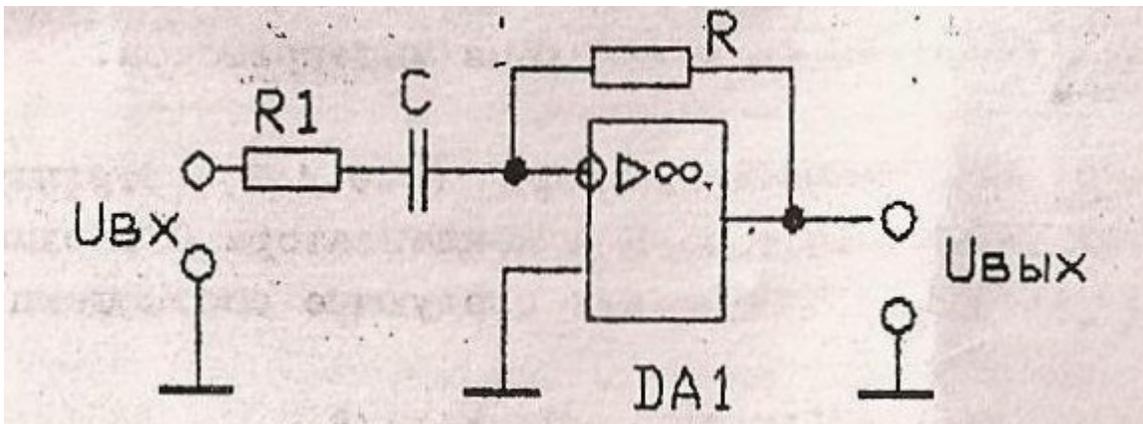


Рис. 4. 3. Схема для исследования дифференциатора

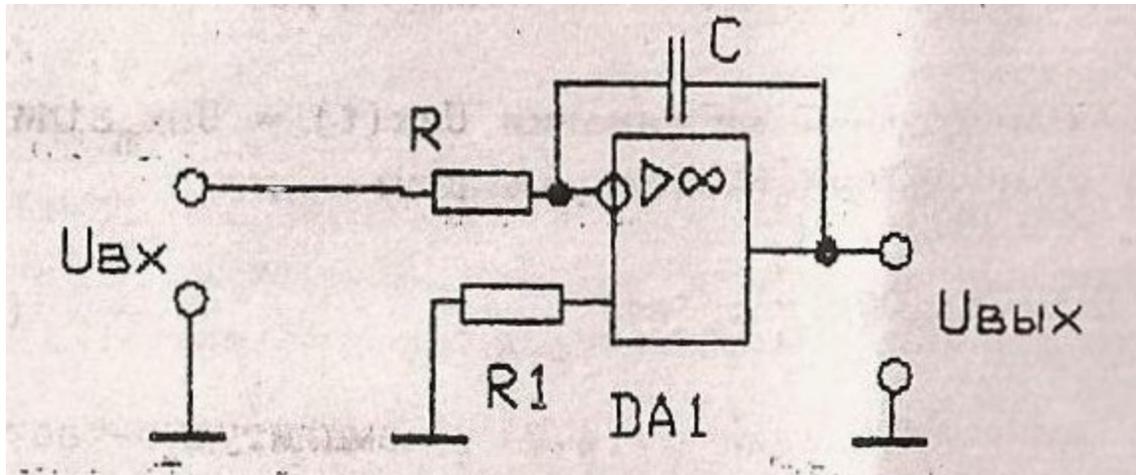


Рис. 4. 4. Схема для исследования интегратора

Если входное напряжение постоянно, то изменение выходного напряжения описывается выражением

4. 5

и значит, выходной сигнал линейно уменьшается со временем.

Если входной сигнал представляет собой переменное напряжение, изменяющееся по косинусоидальному закону $U_{\text{вх}}(t) = U_{\text{вх}m} \cos(\omega t)$, то напряжение на выходе инвертирующего интегратора будет иметь вид

4. 5

$$U_{\text{вых}}(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_{\text{вх}m} \cos(\omega t) dt + U_0(0) = -\frac{U_{\text{вх}m}}{\omega \tau} \sin(\omega t) + U_0(0)$$

Как видно из выражения (4.4), амплитуда выходного напряжения обратно пропорциональна угловой частоте. Амплитудно-частотная характеристика в логарифмическом масштабе имеет вид прямой с наклоном -20 дБ на декаду, что является простым критерием, с помощью которого можно определить, является ли схема интегратором.

Схема инвертирующего дифференциатора (рис. 4.2) реализуется путем перестановки местами резистора R и конденсатора C в схеме на рис. 4.1. Аналогично (4.1) можно записать следующие соотношения

4. 5

$$iC = iR \text{ или } C dU_{\text{вх}}(t) / dt = -U_{\text{вых}}(t) / R$$

откуда

4. 5

$$U_{\text{вых}}(t) = -RC dU_{\text{вх}}(t) / dt = -\tau dU_{\text{вх}}(t) / dt$$

При синусоидальном входном напряжении $U_{\text{вх}}(t) = U_{\text{вх}m} \sin(\omega t)$ напряжение на выходе будет описываться выражением

4.5

$$U_{ex} = -wRCU_{ex_m} \cos(wt)$$

Как видно из выражения (4.7), амплитудно-частотная характеристика схемы дифференцирования в логарифмическом масштабе представляет собой прямую с наклоном +20 дВ на декаду.

Недостатком данной схемы является низкая устойчивость на высоких частотах. Для повышения устойчивости и ограничения коэффициента усиления ОУ на высоких частотах последовательно с конденсатором устанавливают резистор, как показано на рис. 4.3.

Порядок выполнения работы

1. Исследование инвертирующей схемы интегрирования аналоговых сигналов (рис. 4.4).
 - 1.1. Для исследования схемы интегрирования выбрать параметры RC-цепочки. Рекомендуется выбирать $\tau \approx 100$ мс, причем конденсатор должен иметь максимальную емкость из имеющихся на лабораторном стенде. Рассчитать и установить с помощью измерительного прибора величину сопротивления резистора R. Выбранные и рассчитанные данные записать в таблицу 4.1.
 - 1.2. Собрать схему в соответствии с рис. 4.4, подключив к ее входу генератор сигналов. Вход и выход схемы контролировать с помощью двухлучевого осциллографа.

Таблица 4.1

τ	C_I	R_I
мс	мкФ	Ом

1.3. Установить на выходе генератора синусоидальную форму напряжения и минимальный уровень сигнала. Постепенно увеличивая амплитуду сигнала и корректируя величину резистора R_I , добиться симметрии выходного сигнала интегратора (при необходимости подать на неинвертирующий вход через делитель напряжение смещения с одного из источников напряжения лабораторного стенда).

1.4. Снять амплитудно-частотную характеристику интегратора и занести экспериментальные данные в таблицу 4.2. Для одной из частот, где наиболее заметен фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами, зарисовать осциллограммы входного и выходного сигналов совмещенные во времени на одном графике.

1.5. Изменить форму выходного сигнала генератора на прямоугольную. Для нескольких значений частоты входного сигнала (2÷3 точки, отличающиеся по частоте в 10÷20 раз), зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения.

Таблица 4. 2

$U_{вх}$	В	
$U_{вых}$	В	
f	кГц ц	
K_u	о.е.	
	дБ	

2. Исследование схемы дифференцирования аналоговых сигналов (рис.4.3).

2.1. Для исследования схемы дифференцирования выбрать параметры RC-цепочки. Рекомендуется выбирать $\tau \approx 1$ мс, причем конденсатор должен иметь минимальную емкость из имеющихся на лабораторном стенде. Рассчитать и установить с помощью измерительного прибора величину сопротивления резистора R . Выбранные и рассчитанные данные записать в таблицу, аналогичную [таблице 4.1](#). Установить $R_I=0$.

2.2. Собрать схему в соответствии с [рис. 4.3](#), подключив к ее входу генератор сигналов. Вход и выход схемы контролировать с помощью двухлучевого осциллографа.

2.3. Установить на выходе генератора синусоидальную форму напряжения и минимальный уровень сигнала, постепенно увеличивая амплитуду сигнала до оптимального значения.

2.4. Снять амплитудно-частотную характеристику дифференциатора для двух значений резистора R_I ($R_I=0$ и $R_I=0,1 R$) и занести экспериментальные данные в [таблицу 4.3](#). Для одной из частот, где наиболее заметен фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами зарисовать осциллограммы входного и выходного сигналов, совмещенные во времени на одном графике.

2.5. Изменить форму выходного сигнала генератора на треугольную. Для нескольких значений частоты входного сигнала (2÷3 точки, отличающиеся по частоте в 10÷20 раз) зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжения.

2.6. Рассчитать и записать в таблицы [4.2](#) и [4.3](#) коэффициенты усиления $K_u = U_{вых}/U_{вх}$ (о.е.) = $20 \lg(U_{вых}/U_{вх})$ (дБ).

Таблица 4. 3

f		кГц	
$U_{вх}$		В	
$R_I=0$	$U_{вых}$	В	
	K_u	о.е.	
		дБ	
$R_I=0,1 R$	$U_{вых}$	В	
	K_u	о.е.	
		дБ	

Содержание отчета

1. Наименование, цель работы и перечень измерительного оборудования, применяемого в экспериментах.
2. Принципиальные схемы проведенных экспериментов.
3. Расчетные формулы и необходимые расчеты.
4. Таблиц 4.1÷4.3 с экспериментальными и расчетными данными.
5. Осциллограммы входных и выходных напряжений схем интегрирования и дифференцирования.
6. Графики частотных характеристик, построенных на основании расчетных и экспериментальных данных таблиц 4.2 и 4.3.

Контрольные вопросы

1. Какими элементами определяется постоянная времени τ ?
2. Какова зависимость между выходным и входным напряжением идеального интегратора?
3. Зарисовать теоретическую зависимость $U_{\text{вых}}(t)$ инвертирующего интегратора, если входное напряжение было равно нулю и затем, скачком изменилось до +4 В и осталось на этом уровне постоянным.
4. Какова зависимость между входным и выходным напряжением идеального дифференциатора?
5. Чем объясняется неустойчивость работы дифференциатора на высоких частотах?

Приложение 1

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ
УСИЛИТЕЛЕЙ

Таблица П. 1

ТИП микросхемы	$K_u \times 10^3$	$U_{см},$ мВ	$\Delta U_{см},$ $\mu V/^\circ C$	$I_{вх},$ нА	$\Delta I_{вх},$ нА	$f_1,$ МГц	$K_{ос}$ сф, дБ	$U_{вх}$ диф. max, В	$U_{вх}$ сф max, В	$U_{вых}$ max, В	R_n min, кОм	$U_{ин},$ В	$I_{ном},$ мА
К140УД1А	0,5	10	20	5000	150 0	3	60	1,5	3	$\pm 2,$ 8	5	± 6	6
К140УД1Б	0,5	10	20	8000	150 0	8	60	1,5	6	$\pm 5,$ 7	5	± 12	6
К140УД5А	0,5	10	35	5000	100 0	5	50	3	6	$\pm 6,$ 5	5	± 12	12
К140УД5Б	1	7	10	1000 0	500 0	10	60	3	6	$\pm 6,$ 5	5	± 12	12
К140УД6	30	8	20	50	15	1	70	30	11	± 12	1	± 15	3
К140УД7	30	9	10	400	200	0,8	70	20	15	± 10	2	± 15	2,8
К140УД8	20	50	50	0,2	0,15	1	70	6	10	± 10	2	± 15	5
К140УД11	30	10	50	500	200	15	70	10	11	± 12	2	± 15	8
К140УД19	10	>1	0,5	0,5	0,2	0,01	90	10	10	± 1	5	± 15	2
К140УД14	25	5	20	5	1	0,5	85	13	13	± 12	1	± 15	1
К140УД17	120	>1	1,3	12	6	0,4	10 0	15	13	± 12	2	± 15	5
К140УД20	25	6	2	100	30	0,5	70	10	12	± 11	1	± 15	3
К140УД22	50	10	10	0,2	0,05	5	-	20	-	± 10	2	± 15	10
К153УД2	25	7	30	1500	500	1	70	30	12	± 10	2	± 15	3
К153УД4	5	5	50	400	150	1	70	2	5	± 4	5	± 6	0,7
К153УД5	500	2	10	100	20	0,2	10 0	5	13	± 10	2	± 15	3,5
К153УД6	50	2	15	75	10	0,7	80	30	12	± 10	2	± 15	3
К157УД1	50	5	50	500	150	0,5	70	-	20	± 12	0,02	± 15	9
К157УД2	50	10	50	500	150	1	-	-	18	± 13	0,3	± 15	7
К544УД1	50	20	50	0,1	0,05	1	70	10	10	± 10	2	± 15	3,5
К544УД2	20	50	50	0,5	0,1	15	70	10	10	± 10	2	± 15	7
К551УД1	500	2	10	120	35	0,8	10 0	5	13	± 12	2	± 15	5
К551УД2	500	5	20	2000	100 0	1	70	5	8	± 10	2	± 15	10
К574УД1	50	50	50	0,5	0,2	10	80	10	30	± 10	2	± 15	8
К574УД2	25	50	30	1	0,5	2	60	10	10	± 10	10	± 15	10

К574УД3	20	5	5	0,5	0,2	15	-	-	10	±10	10	±15	7
К1401УД1	2	5	30	150	-	2,5	-	-	-	±12	-	±15	8
К1401УД2	25	5	30	150	30	1	70	-	-	±12	2	±15	3

Почти все интегральные микросхемы, содержащие операционные усилители, выпускаются в круглых металlostеклянных корпусах с 8 и 12 выводами (серии К140, К153, К544, К551, К574), в прямоугольных керамических 14- и 16-выводных корпусах (К1401) и в пластмассовых корпусах с числом выводов 8, 14 и 16 (К157, К553). Существуют микросхемы ОУ практически одинаковые по своим параметрам, но в различном исполнении, например, микросхемы серии К153 имеют аналоги в серии К553, но в пластмассовом корпусе. Основным отличием ИС в пластмассовом корпусе, как правило, является малый диапазон рабочих температур по сравнению с металlostеклянными и керамическими микросхемами в составе одной серии также могут иметь разное исполнение. Среди микросхем серий 140, 544, 574 можно определить исполнение по первым буквам их обозначения: К – металlostеклянный, КР – пластмассовый, КМ – керамический корпус. Например, ИС К140УД7 имеет металlostеклянный корпус, КР140УД7 – пластмассовый с 14 выводами и КР140УД708 – пластмассовый с 8 выводами. Отсутствие в обозначении интегральной схемы буквы К, например 140УД7, означает, что данная микросхема имеет улучшенные параметры.

Аналогичные микросхемы в разных сериях и исполнениях имеют различную нумерацию функциональных выводов ОУ. Условные графические обозначения с подключением цепей балансировки (НС) и частотной коррекции (FC) и нумерация выводов некоторых интегральных схем ОУ представлены на рис. [П.1](#) и [П.2](#).

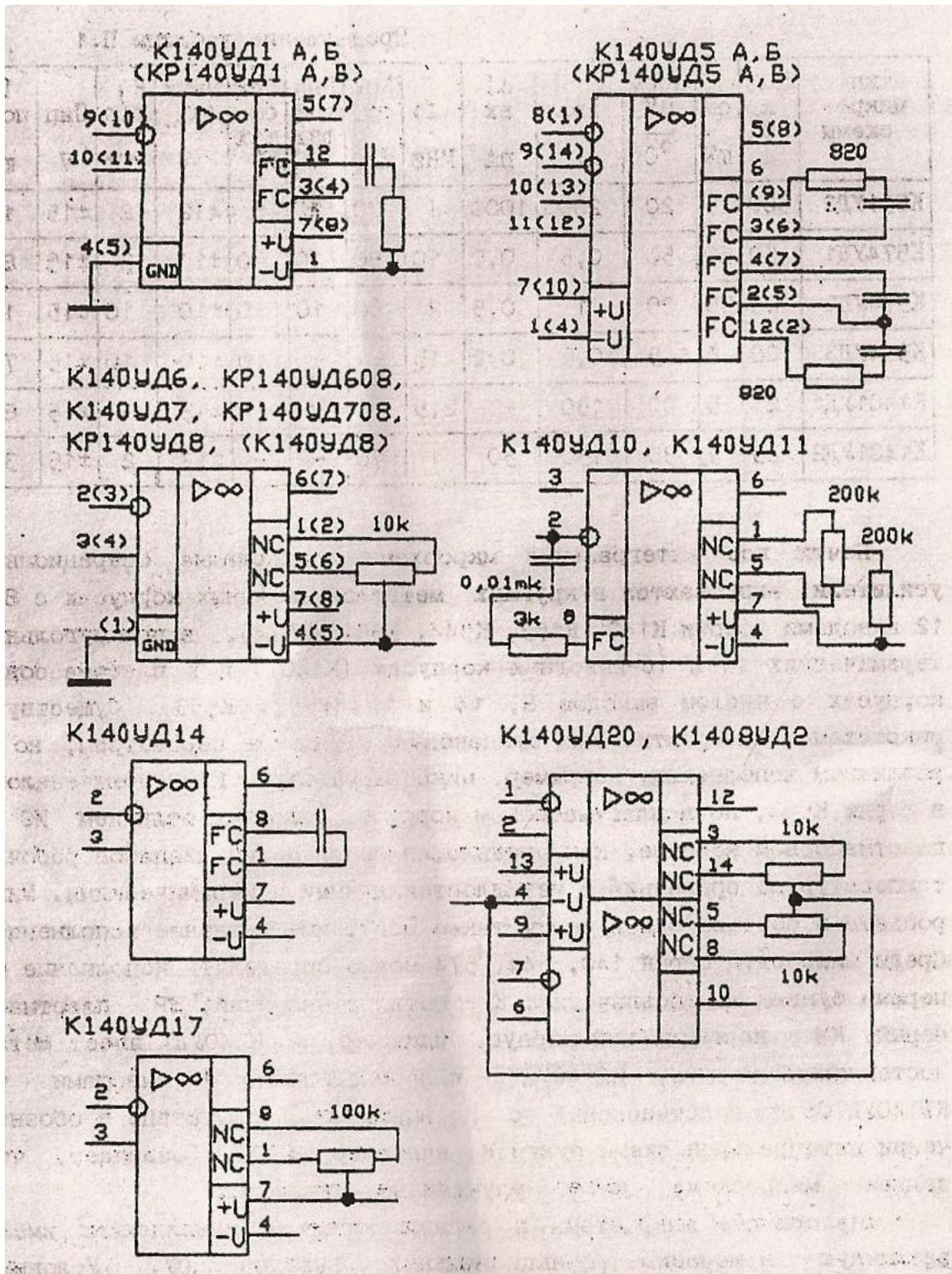


Рис. П. 1. Нумерация выводов интегральных схем ОУ

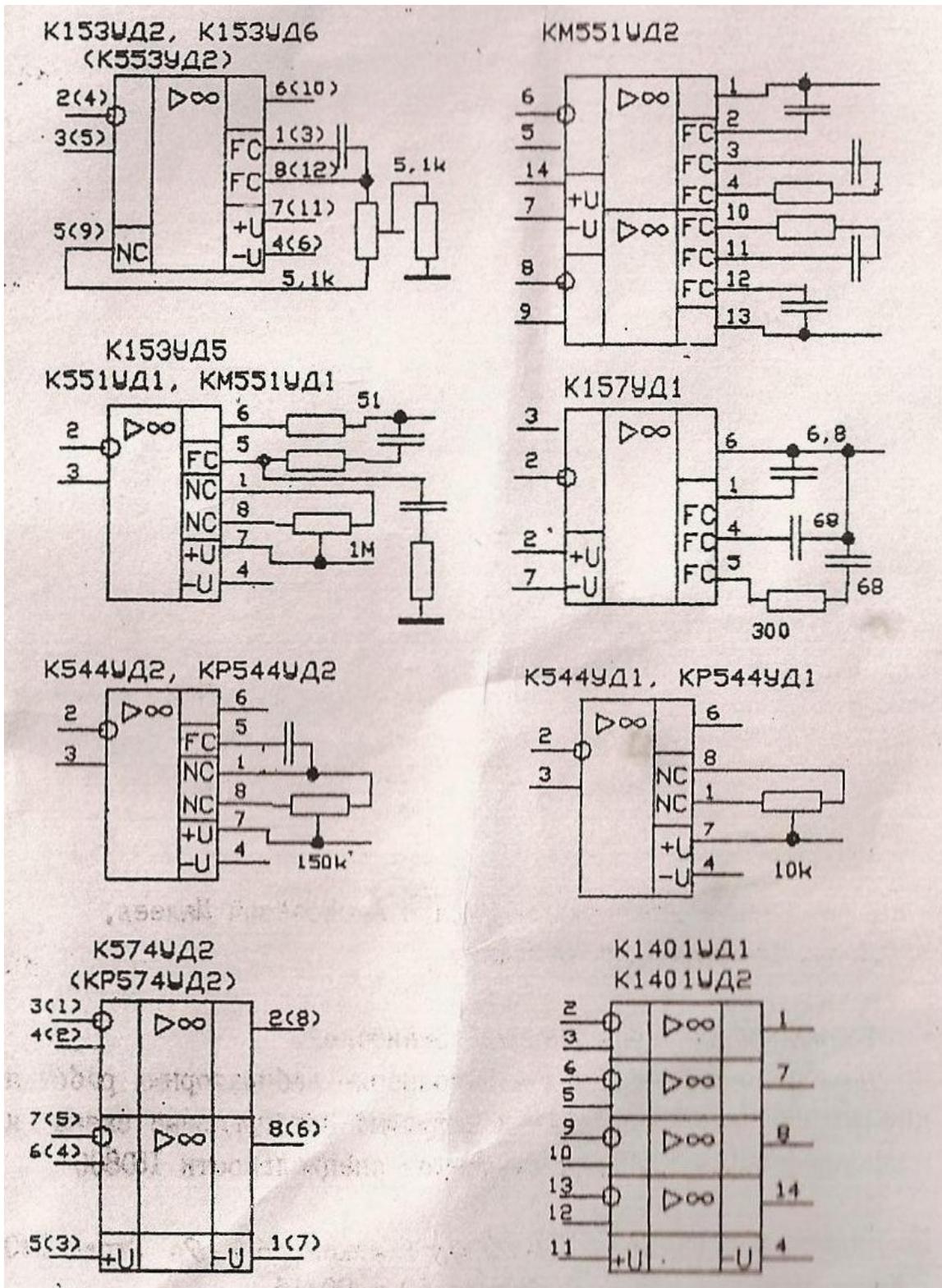


Рис. П. 2. Нумерация выводов интегральных схем ОУ

Олег Алексеевич Акимов, Руслан Алексеевич Малеев,
Игорь Вячеславович Сенькин

Исследование операционных усилителей.
Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине
“Аналоговые и цифровые интегральные схемы и микропроцессоры” для студентов
специальности 180800

Подписано в печать 15.05.96. Заказ 144-96 Тираж 180

Бумага типографская. Формат 60×90/16

Усл. п.л. – 1,4

Уч. изд. п.л. – 1,7

МАМИ, Москва, 105839, Б.Семеновская, 38.