

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»
МИНИСТЕРСТВА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Кафедра «Радиотехника»

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Электронные устройст-
ва в железнодорожной автоматике, телемеханике и связи»

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2005**

I. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цель работы - изучение свойств основного усилительного элемента аналоговой схемотехники - операционного усилителя и состоит в ознакомлении с характеристиками, параметрами и схемами включения операционных усилителей.

2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Операционным усилителем (ОУ) - называют усилитель постоянного тока, имеющий дифференциальный вход и общий выход, с большим коэффициентом усиления, высоким входным и низким выходным сопротивлением.

Впервые ОУ применялся в аналоговых ЭВМ для выполнения таких математических операций, как суммирование, вычитание, интегрирование и поэтому данная схема получила название операционного усилителя.

В настоящее время ОУ, изготовленные по интегральной технологии, являются универсальными и массовыми элементами, а благодаря разнообразным внешним обратным связям позволяют создавать устройства самого различного функционального назначения (усилители, сумматоры, компараторы, фильтры, дифференциаторы, интеграторы и т. д.).

Входной каскад ОУ выполняется в виде дифференциального усилителя (ДУ). ДУ имеет два входа. Вход ($U_{вх-}$), напряжение на котором сдвинуто по фазе на 180 град. (противофазно) относительно выходного напряжения называют инвертирующим и обозначают кружком или знаком “-“. Второй вход ($U_{вх+}$) - неинвертирующим, т.к. напряжение на нем и выходное совпадают по фазе. ОУ обычно имеет двухполярное питание, а выводы к которым оно подключается обозначены $U_{ип-}$ и $U_{ип+}$. Кроме того ОУ может иметь вспомогательные выводы для подключения элементов частотной коррекции и балансировки выходного напряжения. ОУ считается сбалансированным когда выполняется условие: $U_{вых}=0$, когда $U_{вх}=0$. Входные ($U_{вх+}$, $U_{вх-}$) и выходное ($U_{вых}$) напряжения ОУ связаны соотношением:

$$U_{вых} = K_{оу} (U_{вх+} - U_{вх-}), \quad (1)$$

где $K_{оу}$ - коэффициент усиления операционного усилителя.

В связи с тем, что $K_{оу}$ достаточно велик (10^5 — 10^6), схемы на ОУ работают в линейном режиме только при введении отрицательной обратной связи (ООС). При отсутствии отрицательной обратной связи или при введении положительной обратной связи схемы на ОУ обладают нелинейными свойствами и выполняют функции компараторов (устройств сравнения сигналов на входах $U_{вх+}$, $U_{вх-}$), генераторов сигналов различной формы и т. п.

В связи с этим передаточные характеристики ($U_{вых} = f(U_{вх})$) для идеального ОУ имеют следующий вид (рис.1).

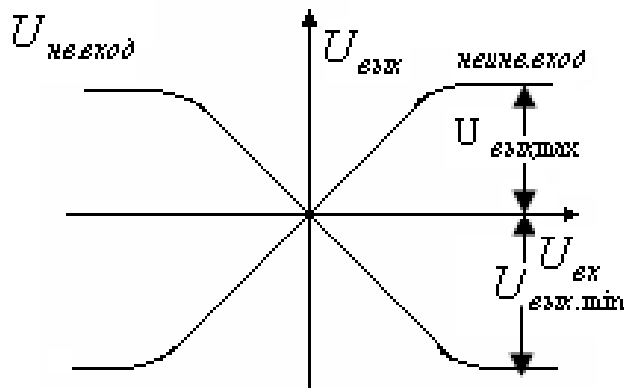


Рис.1 . Передаточные характеристики ОУ

Параметры ОУ можно разделить на следующие группы.

Входные параметры, определяемые свойствами входного дифференциального каскада:

- напряжение смещения нуля $U_{см}$, значение которого определяется неидентичностью напряжений $U_{бэ0}$ транзисторов входного дифференциального каскада, и его температурный дрейф $\Delta U_{см}/\Delta T$;
- входной ток инвертирующего $I_{вх}^-$ и неинвертирующего входа $I_{вх}^+$, а также средний $I_{вх.ср}$ и разностный $I_{вх.разн}$ входной ток (ток баз транзисторов в режиме покоя входного дифференциального каскада) и температурный дрейф разностного входного тока $\Delta I_{вх.разн}/\Delta T$;
- максимальное входное дифференциальное $U_{вх.диф. макс}$ и синфазное $U_{вх.сф. макс}$ напряжения;
- входное дифференциальное сопротивление $R_{вх.оу}$, т. е. сопротивление между входами ОУ для малого дифференциального входного сигнала, при котором сохраняется линейность выходного напряжения.

Передаточные параметры:

- коэффициент усиления по напряжению $K_{оу}$ определяемый отношением изменения выходного напряжения к вызвавшему это изменение дифференциальному входному сигналу $K_{оу} = U_{вых}/U_{вх.диф}$;
- коэффициент ослабления синфазного сигнала $K_{осс}$ определяемый отношением коэффициента усиления дифференциального сигнала в схеме на ОУ к коэффициенту усиления синфазного сигнала $K_{осс} = K_{оу}/K_{оу.сф.}$;
- граничная частота $f_{гр}$ – частота на которой коэффициент усиления уменьшается в $(1/2)^{1/2}$ раз по отношению к максимальному значению коэффициента усиления. Эта час-

тота соответствует уменьшению коэффициента усиления на -3дБ , при задании коэффициента усиления в логарифмическом масштабе;

- частота единичного усиления f_1 т. е. частота, при которой $K_{\text{oy}} = 1$.

Выходные параметры, определяемые свойствами выходного каскада ОУ:

- выходное сопротивление $R_{\text{вых}}$;
- максимальный выходной ток $I_{\text{вых.мах}}$, измеряемый при максимальном выходном напряжении, или минимальное сопротивление нагрузки $R_{\text{н.мин}}$;
- максимальное выходное напряжение в диапазоне линейного усиления. Для большинства типов ОУ величина $U_{\text{вых.мах}} = (E_{\text{п}} - 1,5) \text{ В}$.

Переходные параметры:

- скорость нарастания выходного напряжения $V_{\text{и.вых}}$ — максимальная скорость изменения во времени напряжения на выходе ОУ (В/мкс) при подаче на вход большого сигнала;
- время установления выходного напряжения $t_{\text{уст}}$ время за которое выходное напряжение достигает свое стационарное значение с заданной точностью.

Параметры цепи питания:

- напряжение питания $\pm E_{\text{п}}$;
- потребляемый ток $I_{\text{пот}}$.
- потребляемая мощность. Мощность (без нагрузки) потребляемая операционным усилителем.

Важной характеристикой ОУ является его амплитудная (передаточная) характеристика (рис.1). Кривая 1 соответствует выходному напряжению при входном напряжении на инвертирующем входе и нулевом напряжении на неинвертирующем входе, т.е. $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх-}})|_{U_{\text{вх+}}=0}$. Кривая 2 - $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх+}})|_{U_{\text{вх-}}=0}$. По амплитудной характеристике можно определить $K_{\text{oy}} = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$, и $U_{\text{см}}$ - напряжение смещения - это постоянное напряжение на входе при котором выходное напряжение равно нулю, т.е. ОУ - сбалансирован, $U_{\text{сдв}}$ - напряжение сдвига - это постоянное напряжение на входе, когда $U_{\text{вх-}} = U_{\text{вх+}} = 0$. Типовые значения: $K_{\text{oy}} = 10^4 \div 10^7$; $U_{\text{см}} = 5 \dots 20 \text{ мВ}$.

При упрощенном анализе схем, содержащих ОУ, удобно пользоваться понятием "идеального ОУ", для которого: $K_{\text{oy}} = \infty$; $R_{\text{вх}} = \infty$; $R_{\text{вых}} = 0 \text{ Ом}$; $U_{\text{вых}} = 0$ при $U_{\text{вх-}} = U_{\text{вх+}} = 0$ т.е. ОУ сбалансирован; Δf - диапазон усиливаемых частот $= \infty$; $I_{\text{вх}}$ - входной ток 0 А .

Реально идеальных ОУ не существует. Однако параметры реальных ОУ, с точки зрения погрешностей создаваемых ими, близки к идеальным. Это позволяет использовать понятие идеального ОУ, что существенно упрощает анализ схем, содержащих ОУ. Обычно в устройствах содержащих ОУ он используется не самостоятельно, а с элементами внешней обратной связи, которые целиком определяют его передаточную и частотную характеристику.

В составе ОУ содержится от нескольких десятков до сотни интегральных транзисторов, коэффициенты усиления которых падают с ростом частоты входных сигналов. Поэтому в целом собственный (т.е без обратных связей) коэффициент усиления ОУ, составляющий на низких частотах величины порядка 10^5 , резко падает с ростом частоты. Введение ООС снижает коэффициент усиления ОУ, но выравнивает его амплитудно-частотную характеристику. Без ООС ОУ в схемах усилителей практически не используется.

Схема организации ООС при подаче сигнала на неинвертирующий вход показана на рис.2,а. Делитель, состоящий из резисторов R_N, R_1 , подающий часть выходного напряжения на инвертирующий вход ОУ, создает ООС. Коэффициент усиления, охваченного цепью ООС, составляет

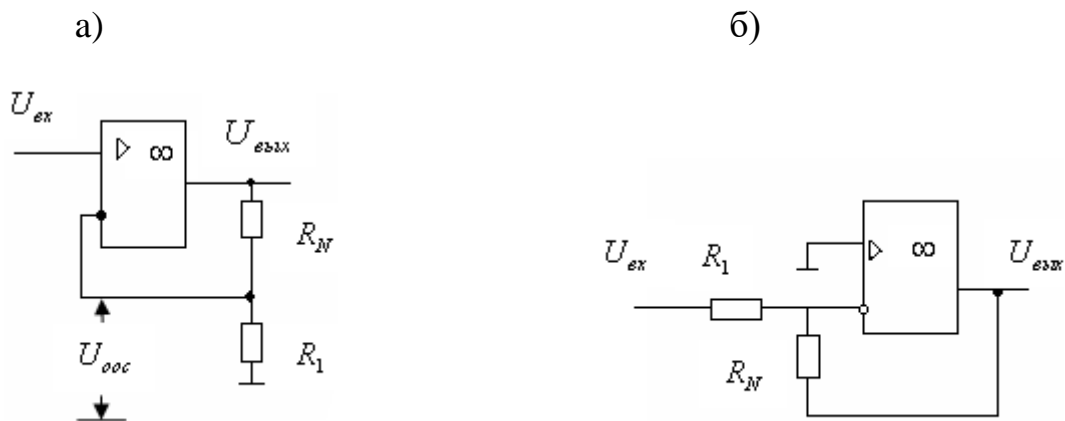


Рис.2. Схема ОУ с ООС при подаче входного сигнала:
а) на неинвертирующий вход и б) на инвертирующий вход

$$K_{oy} = K / (1 - NK), \quad (2)$$

где K -коэффициент усиления без обратной связи;

N -степень обратной связи, т. е. часть напряжения, подаваемого от выходной цепи во входную в противофазе с входным напряжением.

Формулу (2) можно записать так

$$K_{oy} = \frac{1}{\frac{1}{K} - N} \quad (3)$$

При $K \gg 1$, что характерно для ОУ, выражение (3) примет вид

$$|K_{oy}| = 1/N \quad (4)$$

Учитывая, что для семы на рис.2,а (ОУ имеет очень высокое входное сопротивление по любому из входов, намного большее, чем R_1)

$$N = \frac{R_1}{R_N + R_1}, \quad (5)$$

то при $R_N \gg R_1$ получим

$$|K_{oy}| \cong R_N / R_1 \quad (6)$$

$$K_{опыт} = U_{вых} / U_{вх}$$

Схема ОУ с ООС при подаче сигнала на инвертирующий вход показана на рис.2,б. Коэффициент усиления такого ОУ вычисляется также по формуле (6).

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Схема лабораторной установки (рис. 3) для исследования основных характеристик ОУ приведена в каталоге 25 и имеет обозначение ОУ1.ewb. В качестве источника входного сигнала используется генератор (function generator). Для измерения формы и амплитуды напряжений к входной и выходной цепям усилителя подключен осциллограф.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Исследование инвертирующего усилителя.

Экспериментально определить коэффициент усиления (K_u) инвертирующего усилителя, где $K_u = U_{вых} / U_{вх}$;

Измерения K_u проводить для синусоидального сигнала на частоте 100 Гц при амплитуде вх. сигнала 0.2 В. Результаты исследований занести в табл. 1 для приведенных в ней значений R3.

Сравнить результаты эксперимента с расчетом.

Зарисовать временные диаграммы входного и выходного сигналов инвертирующего усилителя для значений сопротивления ООС ($R3 = 10$ и 100 КОм).

Для получения устойчивой картины на экране осциллографа эксперимент проводить в режиме внутренней синхронизации осциллографа.

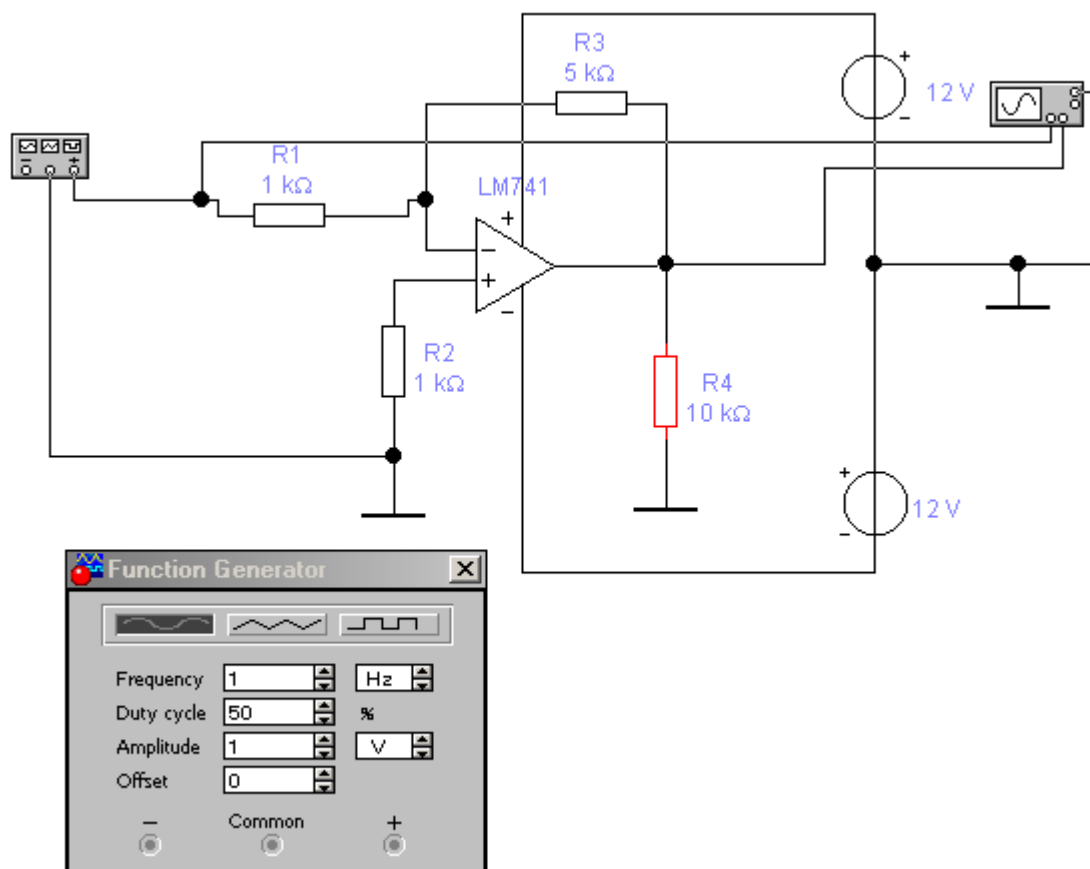


Рис.3. Схема лабораторной установки.

Таблица 1

R3, КОм	1	3	5	10	25	100
$U_{\text{вых}}, \text{В}$						
$K_{\text{опыт}}$						
$K_{\text{расчет}}$						

4.2. Определение скорости нарастания выходного напряжения при импульсном воздействии

Установить степень обратной связи при получении коэффициента усиления порядка 20 ($R3 = 20\text{КОм}$).

Подать на инвертирующий вход от генератора импульс прямоугольной формы с амплитудой 0,2 В. Измерить длительность фронта импульса на выходе, зарисовать осциллограмму, измерить амплитуду выходного импульса.

4.3. Снять АЧХ коэффициента усиления

Зависимость коэффициента усиления от частоты $K_{(f)}=U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ в диапазоне частот ($10...10^6$) Гц при входном гармоническом сигнале амплитудой $U_{\text{вх}}=100$ мВ.

АЧХ снять при помощи инструмента AC Frequency Analysis из главного меню программы Analysis. Задать начальную частоту 1 Гц (FSTART), конечную частоту 10 МГц (FSTOP), узел для анализа (Nodes for analysis – выход операционного усилителя). Узлы в схеме необходимо предварительно обозначить при помощи меню Schematic options отметив опцию Show nodes.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете привести:

- упрощенную схему установки;
- табл. 1, в которой расчетный коэффициент усиления вычисляется по формуле (6).

Данные схемы, необходимые для расчета:

- осциллограммы выходного напряжения и вычисленную скорость нарастания выходного напряжения, показывающую, насколько возрастает напряжение на выходе схемы за микросекунду;
- АЧХ усилителя.

Выводы по результатам исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Под ред. Шилейко А. В. Электронные устройства железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. - М.: Транспорт, 1989.
2. Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника.- Ростов-на-Дону: Феникс, 2004.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

Методические указания

Составили: доц. **Павел Борисович Яковлев**

Рецензент: доц. **Лора Яковлевна Мельникова**

доц. **Валентин Константинович Фунзавя**

Отпечатано в авторской редакции

План 2005 г., №

Подписано в печать с оригинал-макета

Формат 60 × 84 1/16. Бумага для множительного аппарата.

Печать офсетная.

Усл. печ. л. Уч.-изд.л. Тираж 150.

Заказ Цена

Петербургский государственный университет путей сообщения.

190031 СПб., Московский пр., д. 9.

Типография ПГУПС 190031, Московский пр., д. 9.

