

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физико-технический факультет
Кафедра оптоэлектроники**

**Методическое пособие к лабораторной работе
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ
С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ: УСИЛИТЕЛИ И ПОВТОРИТЕЛИ**

Краснодар 2019

Цель работы

Ознакомиться с принципом действия операционного усилителя (ОУ), охваченного отрицательной обратной связью и с функциональными устройствами (усилителями) на его базе.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Обратная связь

Обратная связь в технике — это процесс, приводящий к тому, что результат функционирования какой-либо системы влияет на параметры, от которых зависит функционирование этой системы. Другими словами, на вход системы подаётся сигнал, пропорциональный её выходному сигналу (или, в общем случае, являющийся функцией этого сигнала). Часто это делается преднамеренно, чтобы повлиять на динамику функционирования системы.

Различают положительную и отрицательную обратную связь.

Отрицательная обратная связь – такое состояние электронной схемы, при котором изменение её выходного сигнала, вызванное изменением входного сигнала, в виде пропорционального воздействия **вычитается** из входного сигнала. Т.е. отрицательная обратная связь изменяет входной сигнал таким образом, чтобы противодействовать изменению выходного сигнала.

Операционный усилитель с отрицательной обратной связью

При высоком значении коэффициента усиления достаточно трудно управлять операционным усилителем и удерживать его от насыщения. С помощью определенных внешних цепей часть выходного сигнала можно направить обратно на вход, т.е. организовать *обратную связь*. Применяя отрицательную обратную связь, в которой сигнал с выхода усилителя приходит на инвертирующий вход, можно сделать устройство на базе усилителя более стабильным. Эта конфигурация устройства называется ОУ с отрицательной обратной связью. Применение цепи обратной связи приводит к снижению коэффициента усиления по сравнению с усилителем, не охваченным обратной связью, однако схема становится стабильной. Типичные схемы включения ОУ с замкнутой цепью обратной связи имеют коэффициент усиления от 10 до 1000, тогда как коэффициент усиления ОУ, не охваченного обратной связью, находится в диапазоне свыше 50.000.

Инвертирующий усилитель

Принципиальная схема, показанная на рисунке 1, представляет собой наиболее распространенную схему включения ОУ. Цепь обратной связи в этом случае представляет собой единственный резистор R_2 , который служит для передачи части выходного сигнала обратно на вход. Тот факт, что резистор соединен с инвертирующим входом, указывает на отрицательный характер обратной связи. Входное напряжение (U_{in}) вызывает протекание входного тока I_{in} через резистор R_1 . Значение входного сопротивления усилителя высокое (обычно более 10 МОм), и для идеального ОУ тоже может считаться бесконечным, то тогда входной ток ОУ чрезвычайно мал и им можно пренебречь. Обратите внимание на то, что входное напряжение ОУ имеет дифференциальный характер, т.к. фактически это разность напряжений на неинвертирующем (+) и инвертирующем (-) входах усилителя. Неинвертирующий вход чаще всего соединяют с нулевым потенциалом.

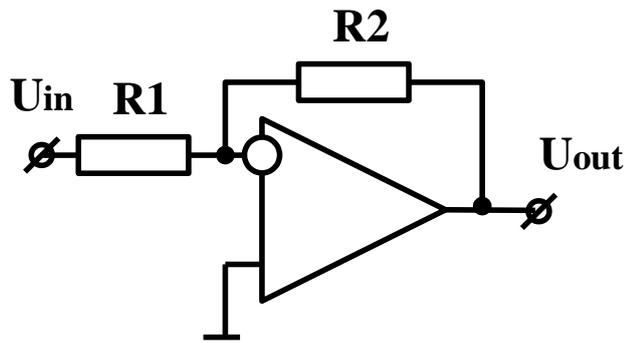


Рисунок 1. Инвертирующий усилитель на базе ОУ

Чтобы выразить передаточную характеристику, применим правила Кирхгофа и уравнения цепи.

Входная цепь

$$U_{in} = I_{in} R_1 \quad (1)$$

Цепь обратной связи

$$U_{out} = - I_{out} R_2 \quad (2)$$

Точка суммирования

$$I_{in} = - I_{out} \quad (4)$$

На выходе усилителя

$$U_{out} = - U_{in} (R_2 / R_1) = - k U_{in} \quad (5),$$

где k – коэффициент передачи усилителя, охваченного обратной связью.

Отношение номинальных значений резисторов R_2/R_1 называется коэффициентом передачи усилителя, охваченного обратной связью (k), а знак минус означает, что выходной сигнал инвертирован, т.е. при росте входного сигнала на выходе будет спад. Следует обратить внимание на то, что коэффициент усилителя, охваченного обратной связью, можно установить посредством выбора сопротивлений двух резисторов R_1 и R_2 .

При $R_1 < R_2$ коэффициент передачи $k > 1$ и устройство работает как инвертирующий усилитель;

при $R_1 = R_2$ коэффициент передачи $k = 1$ и устройство работает как инвертор (инвертирующий повторитель);

при $R_1 > R_2$ коэффициент передачи $k < 1$ и устройство работает как инвертирующий делитель.

Входное сопротивление устройства равно сумме параллельно включенных R_1 и R_2 , выходное – выходному сопротивлению идеального ОУ.

Неинвертирующий усилитель.

Если в усилителе, охваченном отрицательной обратной связью через резисторы R_1 и R_2 , входное напряжение U_{in} подавать на неинвертирующий вход, как показано на рисунке 2, то вследствие обратной связи такое же напряжение установится и на инвертирующем входе. Для этого необходимо, чтобы между инвертирующим и неинвертирующим входами установился «виртуальный 0», т.е. поделенное делителем R_2/R_1 выходное напряжение U_{out} было равно входному U_{in} . Таким образом, мы получим неинвертирующий усилитель с коэффициентом усиления

$$k = 1 + R_2/R_1 \quad (6).$$

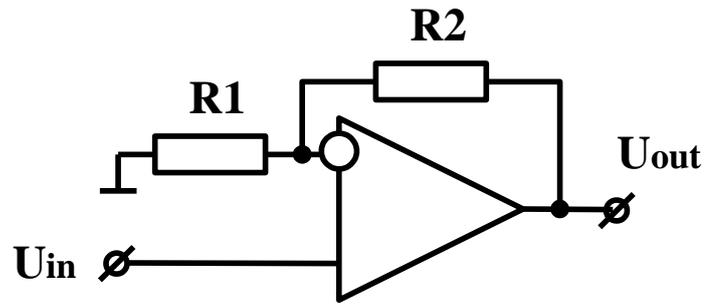


Рис. 2. Неинвертирующий усилитель на ОУ.

Из формулы 6 следует, что коэффициент усиления такого усилителя не может быть меньше 1. Входное и выходное сопротивления устройства равны входному и выходному сопротивлению идеального ОУ.

Повторитель напряжения

Если в неинвертирующем усилителе, приведенном на рисунке 2, установить $R_2 = 0$ (короткое замыкание) а сопротивление R_1 сделать бесконечным (убрать совсем), как это показано на рисунке 3, то вследствие формулы 6 коэффициент усиления устройства:

$$k = 1 \quad (7).$$

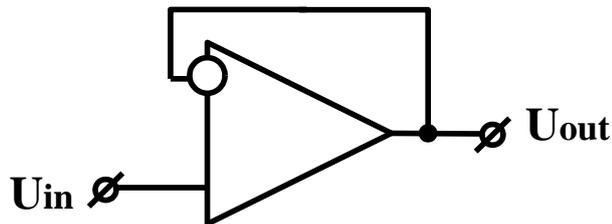


Рис. 3. Повторитель на ОУ.

Такое функциональное устройство на ОУ называют повторителем, т.к. его выходное напряжение повторяет входное U_{in} .

$$U_{out} = U_{in} \quad (8).$$

Однако, входное сопротивление такого устройства для идеального ОУ равно бесконечности, а выходное – нулю, т.е. устройство усиливает сигнал по мощности. Поэтому повторитель называют также буферным усилителем (бустером) и/или трансформатором сопротивления.

ОУ в усилителях мощности

Для усиления мощности ОУ используются в сочетании с транзисторами, например, с ЭП. Обратной связью охватывается вся схема, что повышает ее стабильность. Для получения еще большей мощности может использоваться двухтактный каскад.

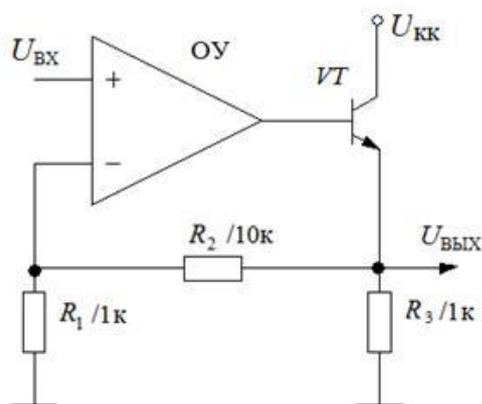


Рис. 4. Усилитель мощности на ОУ с использованием ЭП

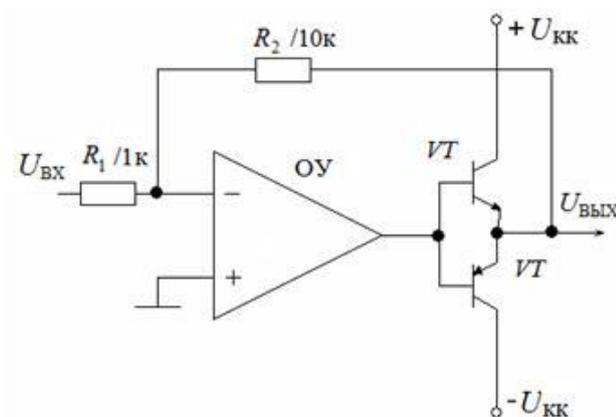


Рис. 5. Усилитель мощности на ОУ с использованием двухтактного каскада

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

ВНИМАНИЕ!!! Питание операционного усилителя (+/- 15 В) **ВСЕГДА ВКЛЮЧАЕТСЯ ПЕРВЫМ А ВЫКЛЮЧАЕТСЯ ПОСЛЕДНИМ!** Несоблюдение этого правила ведет к выходу ОУ из строя.

Под руководством преподавателя соберите и исследуйте работу следующих схем:

1. Инвертирующий усилитель, инвертор, инвертирующий делитель.
2. Неинвертирующий усилитель.
3. Повторитель.
4. Усилитель мощности на ОУ с использованием двухтактного каскада.

Исследуйте работу схем, для каждой определите реальный коэффициент передачи и зарисуйте эпюры входного и выходного напряжения.

Контрольные вопросы

1. Что такое обратная связь?
2. Какая обратная связь называется положительной? К какому входу ОУ должен быть подключен его выход для того, чтобы возникла ПОС?
3. Какая обратная связь называется отрицательной? К какому входу ОУ должен быть подключен его выход для того, чтобы возникла ООС?
4. Нарисуйте схему инвертирующего усилителя, выведите формулу для его коэффициента передачи. Нарисуйте эпюры напряжений на входе и выходе инвертирующего усилителя.
5. Нарисуйте схему инвертирующего повторителя, выведите формулу для его коэффициента передачи. Нарисуйте эпюры напряжений на входе и выходе инвертирующего повторителя.
6. Нарисуйте схему инвертирующего делителя, выведите формулу для его коэффициента передачи. Нарисуйте эпюры напряжений на входе и выходе инвертирующего делителя.
7. Чему равно входное и выходное сопротивления инвертирующего усилителя?
8. Нарисуйте схему неинвертирующего усилителя, выведите формулу для его коэффициента передачи. Нарисуйте эпюры напряжений на входе и выходе неинвертирующего усилителя.
9. Чему равно входное и выходное сопротивления неинвертирующего усилителя?
10. Нарисуйте схему повторителя, выведите формулу для его коэффициента передачи. Нарисуйте эпюры напряжений на входе и выходе повторителя.
11. Чему равно входное и выходное сопротивления повторителя?

Основная литература

1. Кузовкин В.А., Филатов В. В. Электротехника и электроника : учебник для бакалавров : учебное пособие для студентов вузов. М.: Юрайт, 2013.
2. Шишкин Г.Г. Электроника: учебник для студентов вузов. М. : Дрофа, 2009.

Дополнительная литература

1. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. М.: «Мир». 1983.
2. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. М.: «Мир». 1982.