

МЕНЮ

Инвертирующий усилитель на ОУ

КМБ

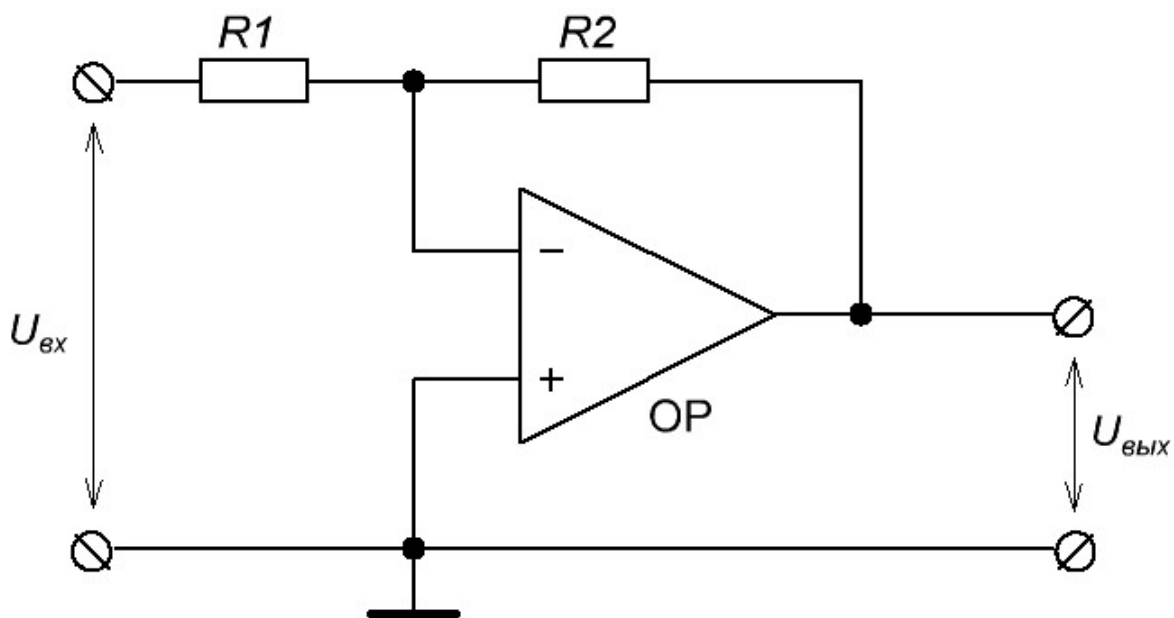
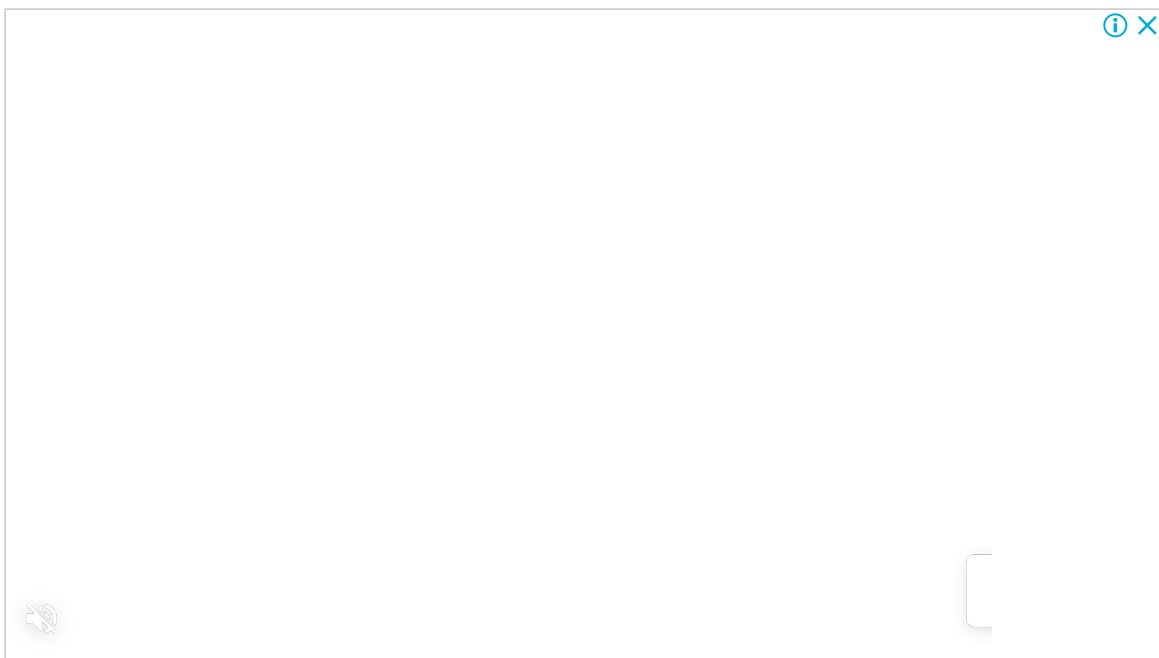
Оглавление [скрыть]

- 1 Схема инвертирующего усилителя с двухполярным питанием
- 2 Пример работы инвертирующего усилителя
- 3 Насыщение выхода инвертирующего усилителя
- 4 Ток смещения и смещение выхода
- 5 Способы борьбы с током смещения
- 6 Инвертирующий усилитель с однополярным питанием
- 7 Свойства инвертирующего усилителя



Схема инвертирующего усилителя с двухполярным питанием

Базовая схема инвертирующего усилителя с двухполярным питанием выглядит вот так:



Здесь мы видим два резистора и сам ОУ. На вход подаем сигнал, а с выхода уже снимаем усиленный сигнал. Как можно заметить, неинвертирующий вход ОУ заземлен. Как же работает схема? Здесь мы видим обратную связь. То есть с выхода сигнал подается обратно на вход через резистор R2. Наш усилитель является инвертирующим, так как сигнал на выходе на 180 градусов сдвинут по фазе относительно входного

сигнала. Значит, в узле, где соединяются два резистора и инвертирующий вход, выходной сигнал будет приходить со знаком “минус”. Такая обратная связь называется **отрицательной обратной связью (ООС)**. Она уменьшает высокий коэффициент усиления ОУ до нужных нам значений.

В НЕинвертирующем усилителе обратная связь идет по напряжению, а в инвертирующем усилителе – по току.

Если вы читали статью про ОУ, то, наверное, помните, что если один из входов ОУ соединен с землей, то и другой вход имеем точно такой же потенциал. В данном случае НЕинвертирующий вход у нас соединен с землей, следовательно, на инвертирующем входе будет точно такой же потенциал, то есть 0 Вольт. Такой вход еще называют **мнимой (виртуальной) землей**. Как говорит на Википедия, “мнимый – это фальшивый, поддельный, ложный”.



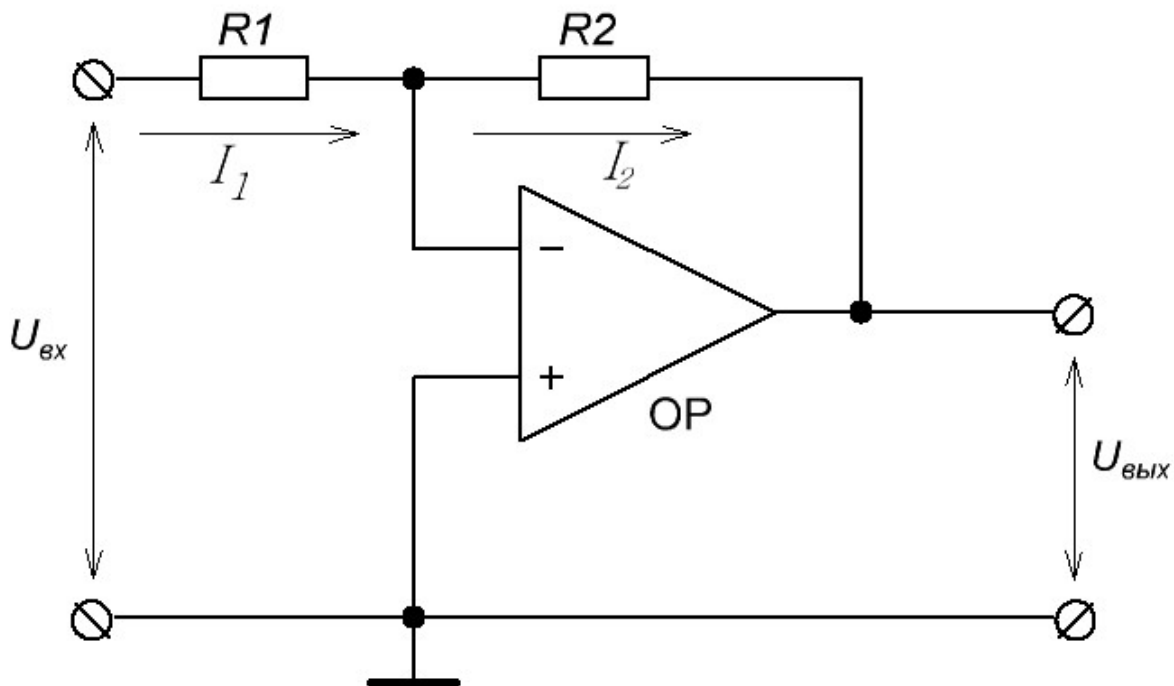
А царь-то не настоящий!



Коэффициент усиления по напряжению любого усилителя выражается формулой

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$$

Итак, что получаем в итоге?



$$I_1 = \frac{U_{\text{ВХ}}}{R_1}$$

Входное напряжение из формулы выше

$$U_{\text{ВХ}} = I_1 R_1$$

Но так как наш усилитель инвертирует входной сигнал, следовательно, на выходе у нас будет напряжение со знаком “минус”, то есть $-U_{\text{вых}}$.

В этом случае ток I_2 будет выражаться формулой:

$$I_2 = \frac{-U_{\text{ВЫХ}}}{R_2}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = -I_2 R_2$$

Отсюда находим коэффициент усиления

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = -\frac{I_2 R_2}{I_1 R_1}$$

Так как входное сопротивление инвертирующего входа бесконечно велико, следовательно, ток будет протекать только через цепь $R_1 \rightarrow R_2$. Два разных тока в одной ветви быть не может, поэтому получается, что

$$I_1 = I_2$$

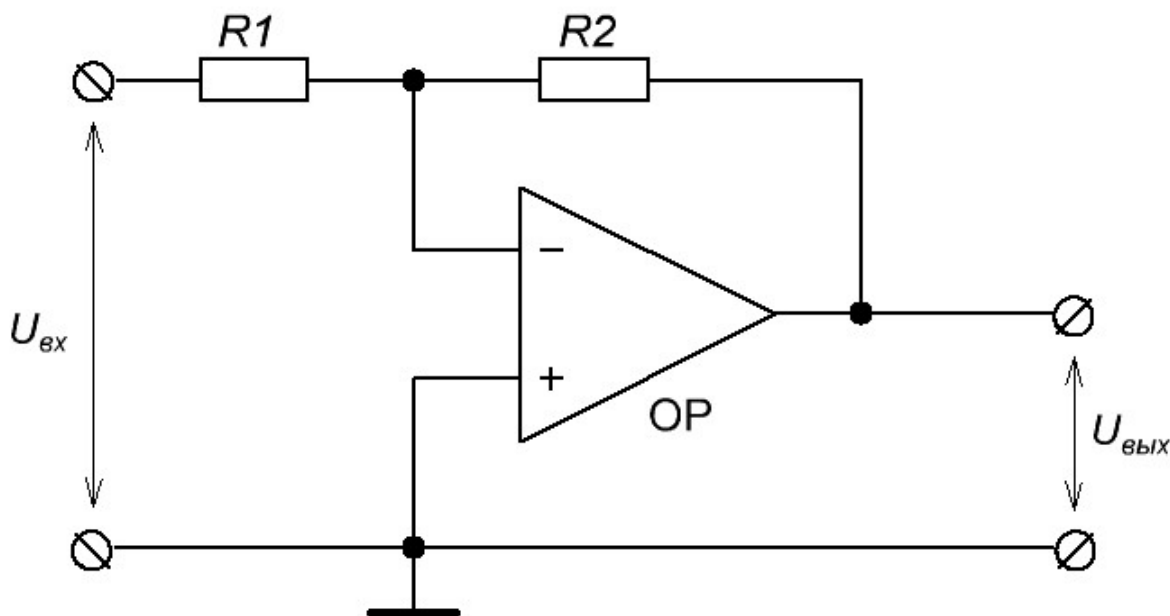
В итоге наша формула сокращается и получаем

$$K_U = -\frac{R_2}{R_1}$$

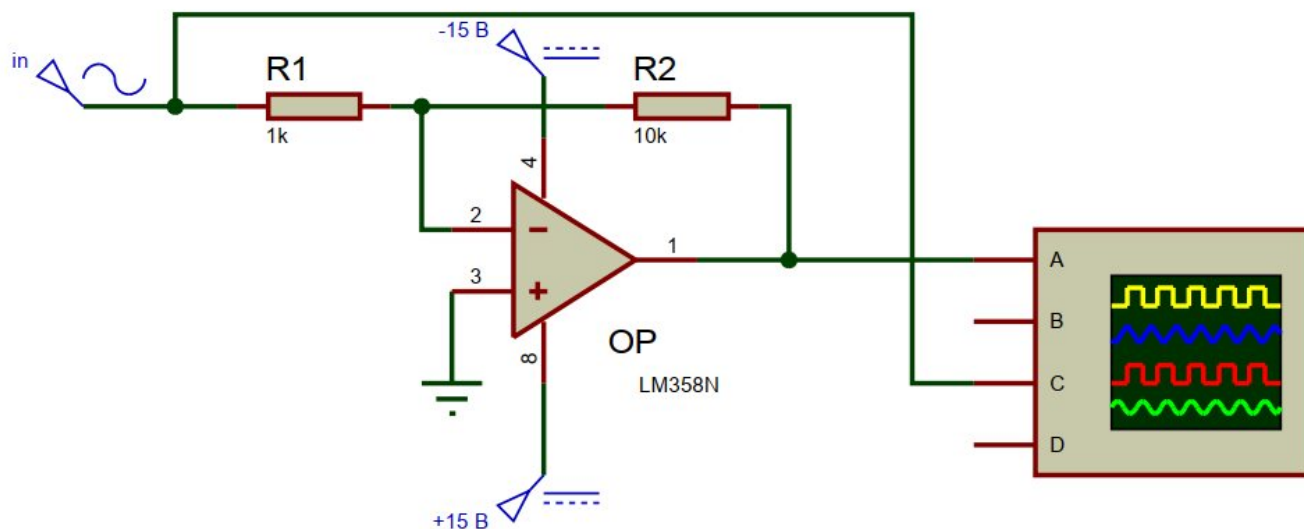
Пример работы инвертирующего усилителя



Давайте посмотрим, как работает наш усилитель в программе-симуляторе электронных схем Proteus. Здесь мы собираем базовую схему с двухполярным питанием

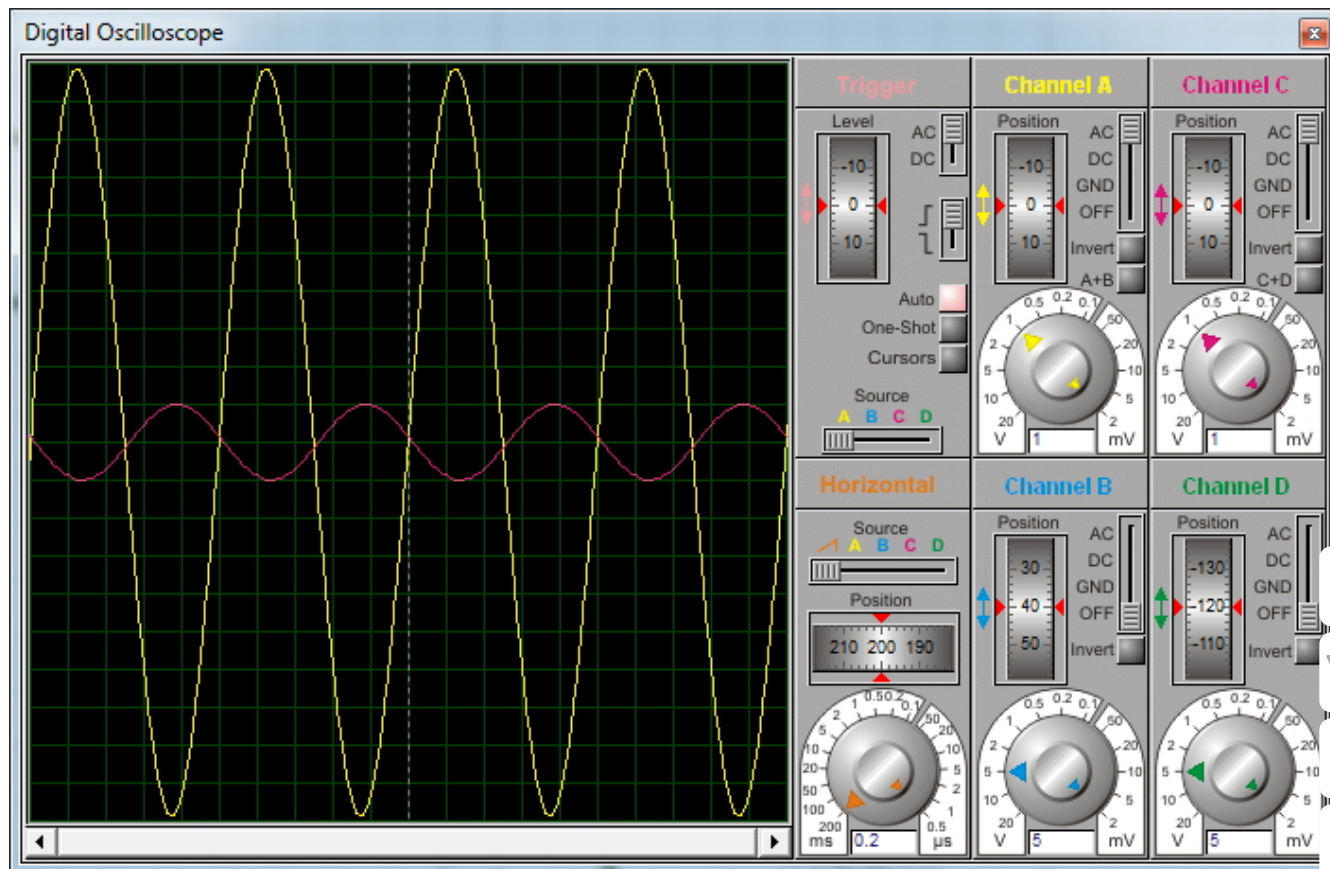


В Proteus она будет выглядеть вот так:



Здесь мы взяли значение резисторов $R2=10\text{ кОм}$ и $R1=1\text{ кОм}$, следовательно, коэффициент усиления такой схемы будет равен -10. Знак “минус” в данном случае просто инвертирует усиленный сигнал, что мы и видим на осциллограмме ниже. Входной сигнал – это розовая осциллограмма, а выходной – это желтая осциллограмма.

Выходной сигнал находится в противофазе относительно входного, то есть **инвертирует** его. Отсюда и название “инвертирующий усилитель”.



Насыщение выхода инвертирующего усилителя

Давайте представим себе такую ситуацию. У нас входное переменное напряжение амплитудой 1 В. Коэффициент усиления 50. По нашим расчетам на выходе мы должны получить сигнал амплитудой 50 В. Но как мы получим 50 В, если питание нашего усилителя, допустим, ± 15 В? Усиленный сигнал, амплитудой больше чем 15 В, мы получить не сможем. Хотя типичное падение напряжения во внутренних цепях реальных ОУ составляет около 0,5-1,5 В. То есть максимальный размах сигнала, который мы можем получить в данном случае на выходе будет 27-29 Вольт.

Хотя в настоящее время есть ОУ, которые все-так позволяют получать на выходе \pm Упит. Такое свойство некоторых ОУ называется Rail-to-Rail. В дословном переводе “от рельса до рельса” или “от шины до шины”. Есть такие параметры, как Rail-to-Rail по входу (Rail-to-Rail input). Здесь на вход мы можем подавать сигналы вплоть до Упит ОУ. Иногда в даташите оговаривается, с отрицательной или положительной шины питания можно подходить к этому параметру. Есть также есть Rail-to-Rail output. Здесь на выходе

мы можем получить напряжение $\pm U_{пит}$. Если усиленный сигнал на выходе не вписывается в такой диапазон, то он будет срезаться. Такое свойство ОУ называется **насыщением выхода**. То есть надо всегда помнить, что если амплитуда сигнала будет превышать $\pm U_{пит}$ усилителя, то такой сигнал на выходе будет срезан по этому уровню.



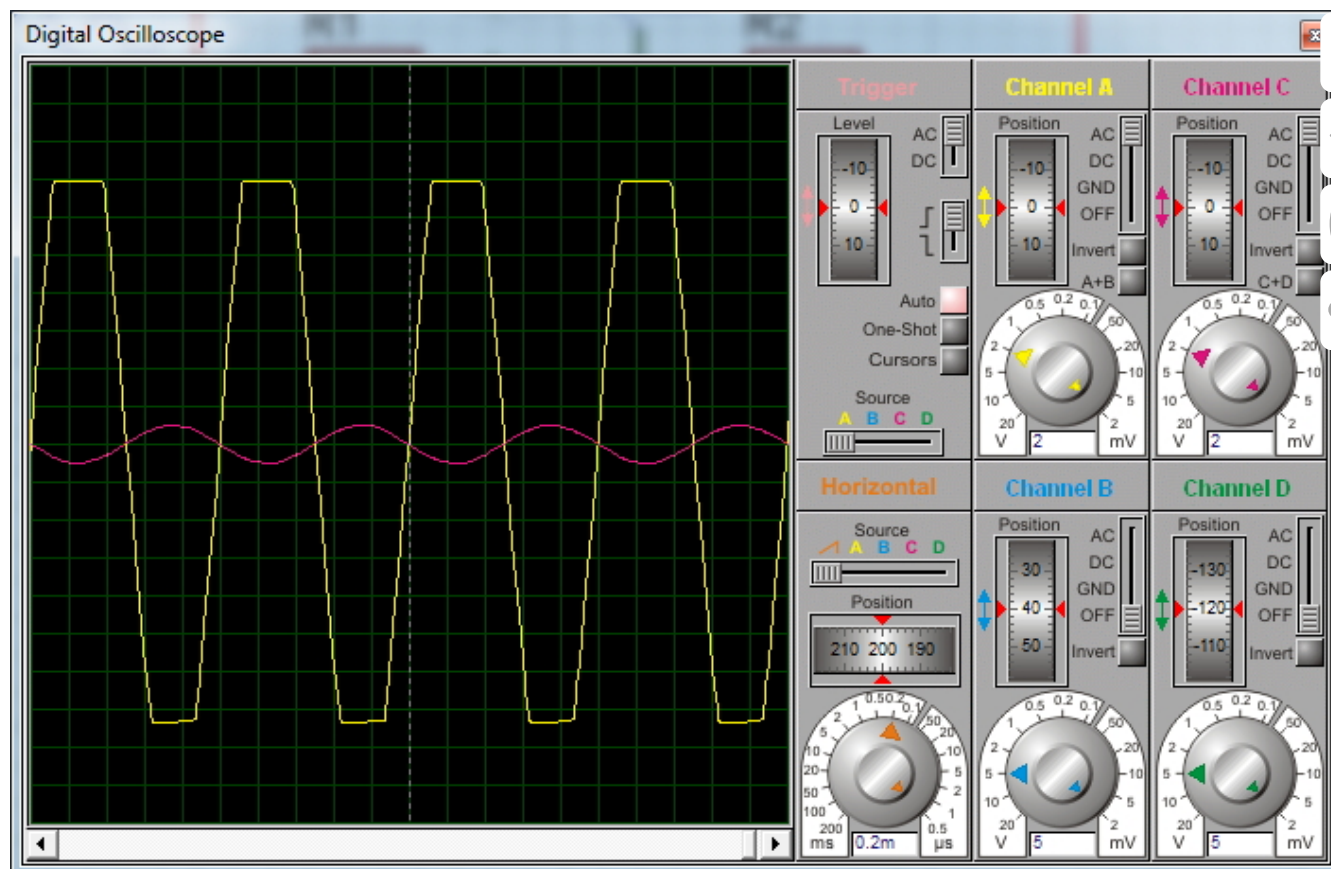
2017 Best Promotion 5...

2017 best promotion 500pcs 50values each 10pcs resistors set 1oh 1w (1 watt) metal...

AliExpress

Buy

Продemonстрируем это в симуляторе Proteus. И так, давайте на вход подадим синусоидальный сигнал амплитудой в 1 В, а коэффициент усиления сделаем 20, подобрав нужные резисторы. То есть по нашим расчетам мы должны получить синус с амплитудой в 20 Вольт. Смотрим осциллограмму

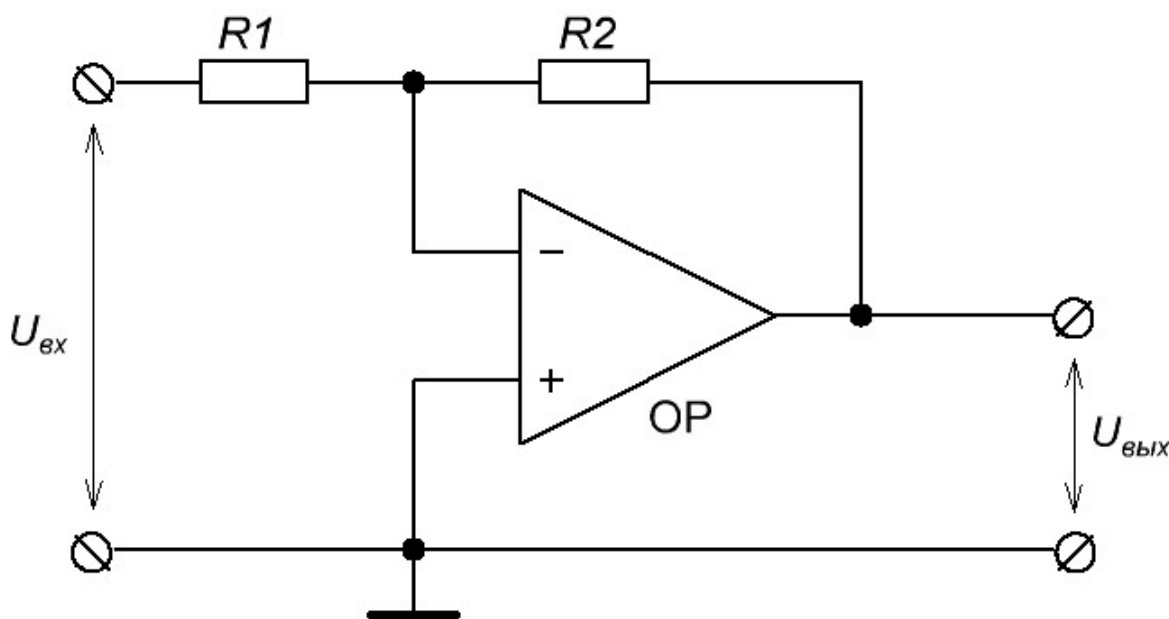


Подавали на вход синусоиду, а получили на выходе синусоиду с обрезанными верхушками и амплитудой в 14 В. Одна клеточка в данном случае – это 2 В. Как вы видите, сигнал, амплитудой более чем $\pm U_{пит}$ мы получить не сможем. Всегда помните об этом, особенно при конструировании радиоэлектронных устройств.

Ток смещения и смещение выхода

Входы реального ОУ потребляют небольшой ток, который называется **током смещения**. В англоязычных даташитах он называется **Input Bias Current**. Если входные цепи ОУ построены на биполярных транзисторах, то такой ток смещения будет где-то несколько десятков наноампер, в отличие от ОУ, где входные цепи построены на полевых транзисторах. Во входных цепях, построенных на полевых транзисторах, ток смещения оценивается десятками долями пикоампер. Следовательно, ток смещения очень важен именно для ОУ, чьи входные цепи построены на биполярных транзисторах

Почему же так важен ток смещения? Давайте еще раз рассмотрим схему

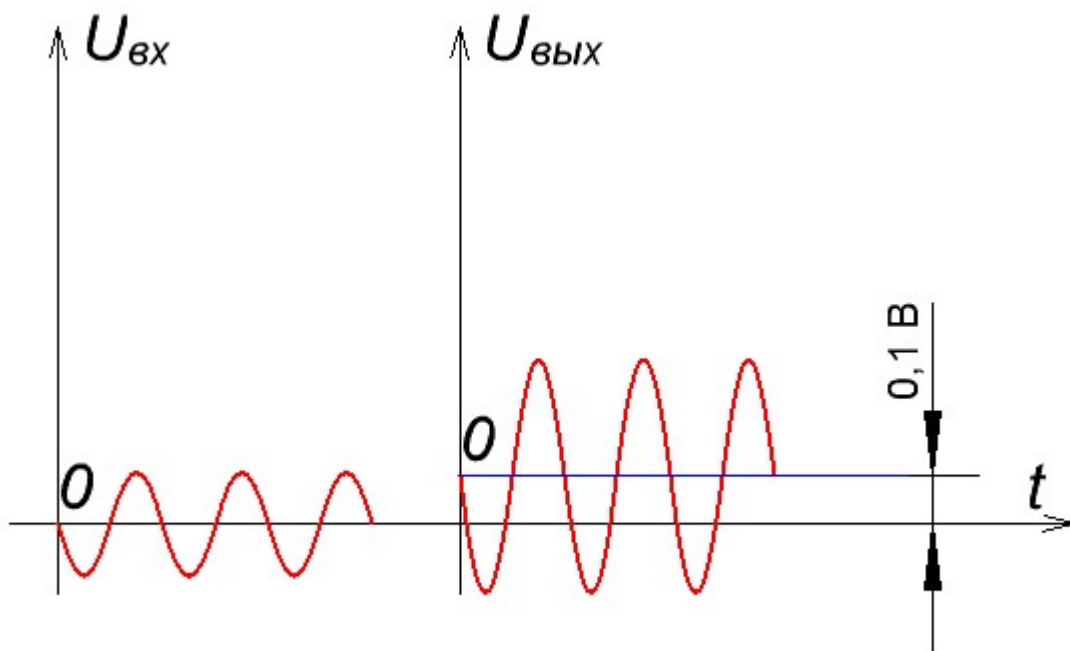


Даже если мы не подаем никакого сигнала на вход, то на выходе у нас все равно будет какое-то маленькое постоянное напряжение. Почему так происходит? Во всем как раз и виноват ток смещения. Он создает падение напряжения на резисторе обратной связи. В данном случае – это резистор $R2$. А как вы знаете, на большем сопротивлении падает большее напряжение. То есть если номинал сопротивления $R2$ будет очень большим, то



на нем будет падать большое напряжение, которое как раз и пойдет на выход нашего ОУ.

Допустим, ток смещения равен 0,1 мкА, а резистор $R_2 = 1 \text{ МОм}$, то какое падение напряжения будет в этом случае на резисторе? Вспоминаем закон Ома: $I = U/R$, отсюда $U = IR = 0,1 \text{ В}$. То есть на выходе у нас уже будет постоянное напряжение 0,1 В! Подавая на вход такого усилителя полезный сигнал с током смещения в 0,1 мкА, на выходе этот сигнал будет усиливаться и суммироваться с постоянной составляющей в 0,1 В. В нашем случае происходит смещение нулевого уровня. Наглядно – на рисунке ниже.



Способы борьбы с током смещения

В некоторых случаях током смещения можно пренебречь, если он не оказывает сильного влияния на ваши требования по сигналу. Но если все-таки вы разрабатываете какое-либо точное устройство, где выходной сигнал должен строго вписываться в рамки ТЗ, то в этом случае можно прибегнуть к таким способам:

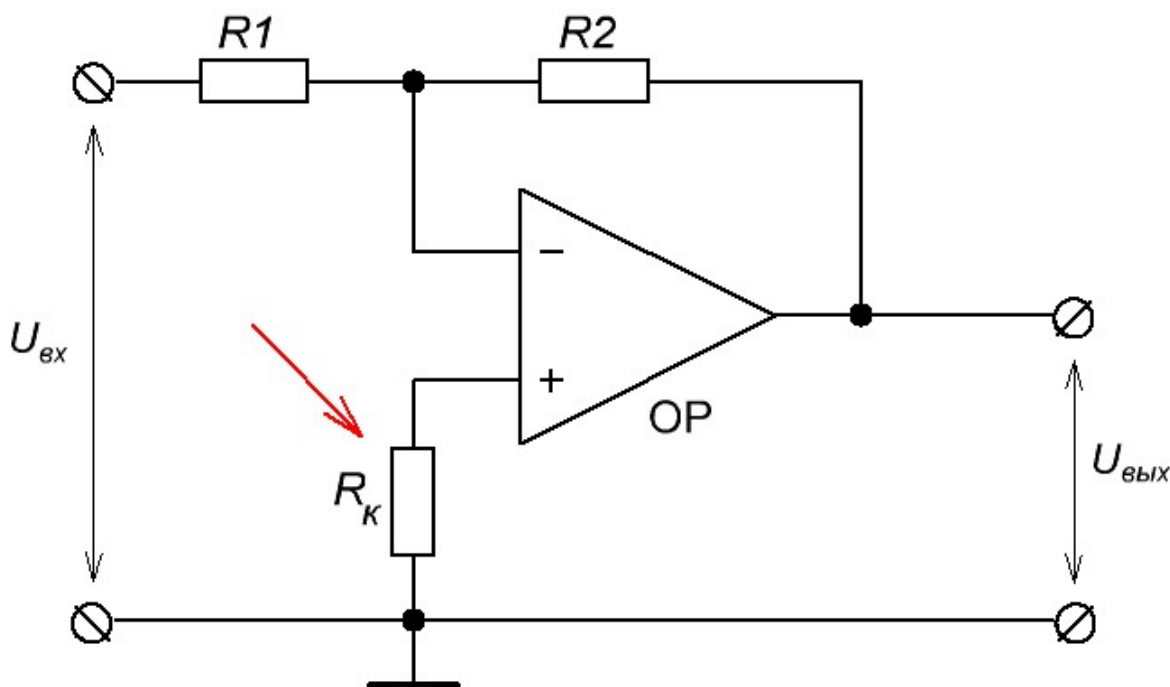
1) Ставить в цепь обратной связи резистор малого номинала.



На малом сопротивлении падает малое напряжение. Следовательно, на выходе уже будет меньшее постоянное напряжение. Стандартный диапазон резисторов от нескольких килоом и до 50 кОм.

2) Ввести в схему компенсирующий резистор





В этом случае он будет определяться по формуле:

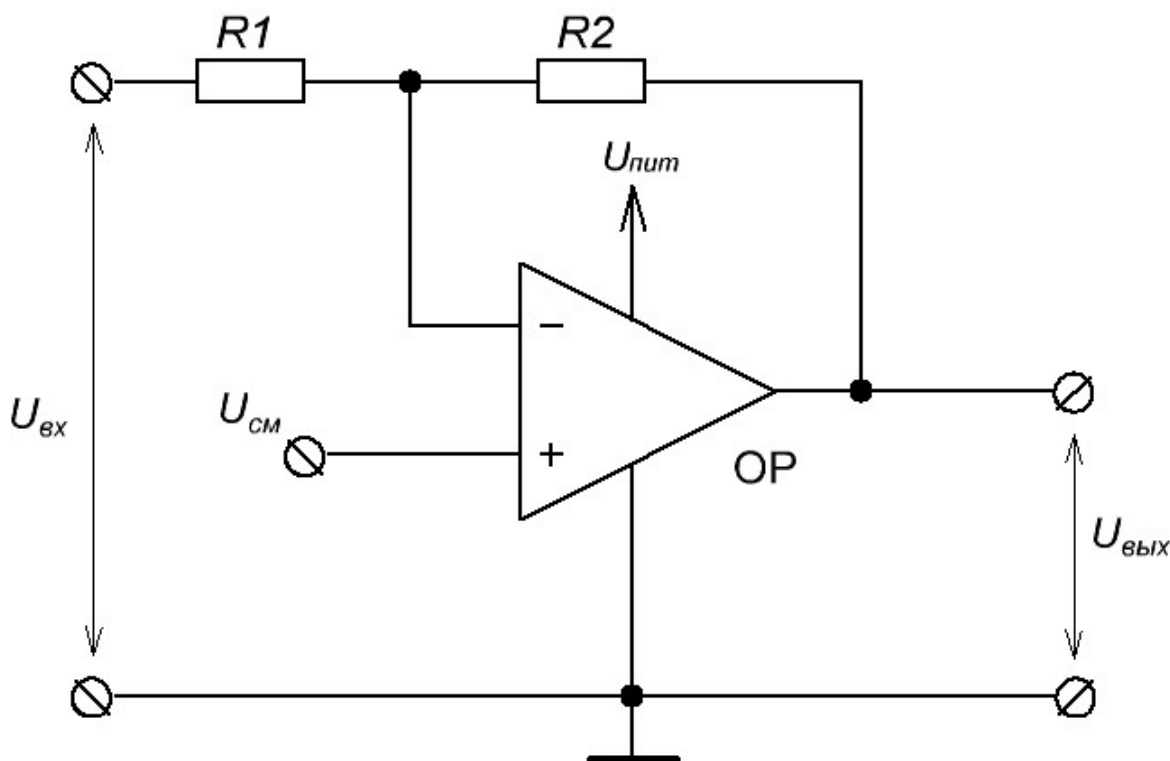
$$R_k = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}$$

Если все-таки выходной сигнал соответствует вашим ожиданиям и без R_k , то лучше его не ставить, так как любой резистор вносит шумовые искажения в сигнал. Зачем лишний раз добавлять в схему шум?

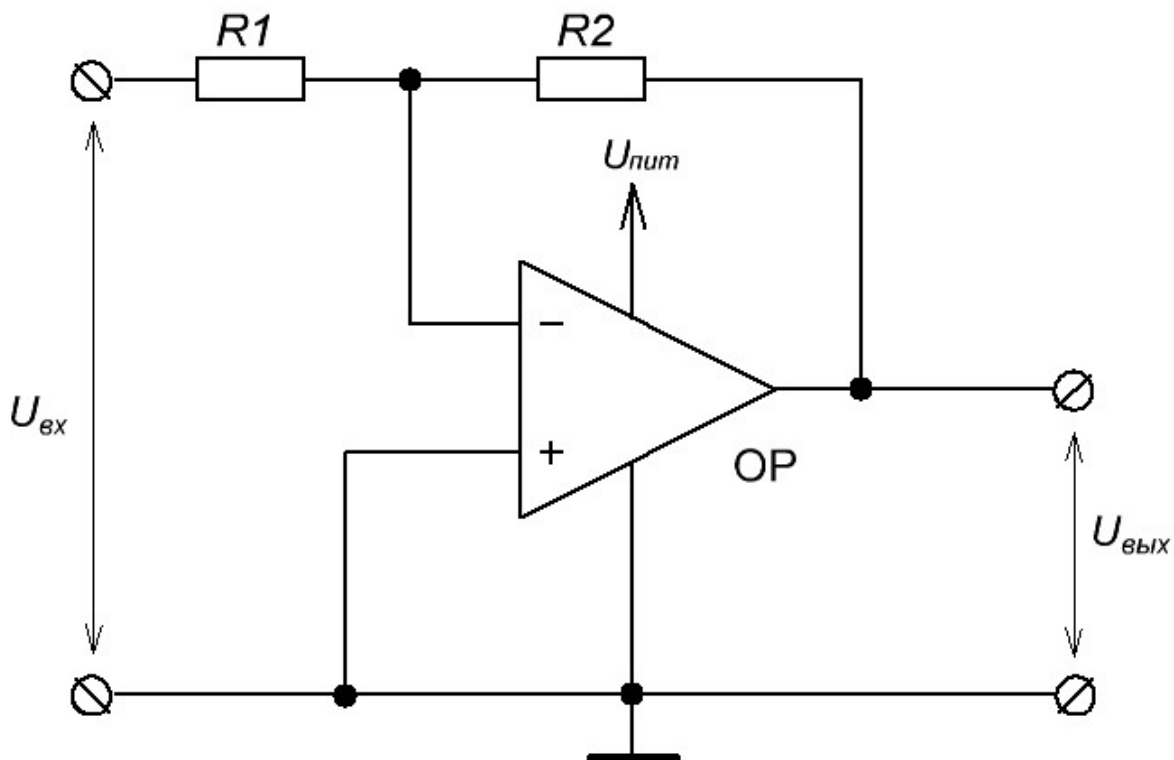
3) Использовать ОУ с входными цепями, построенными на полевых транзисторах, либо подбирать ОУ с малыми токами смещения, благо сейчас технологии производства таких ОУ далеко шагнули вперед.

Инвертирующий усилитель с однополярным питанием

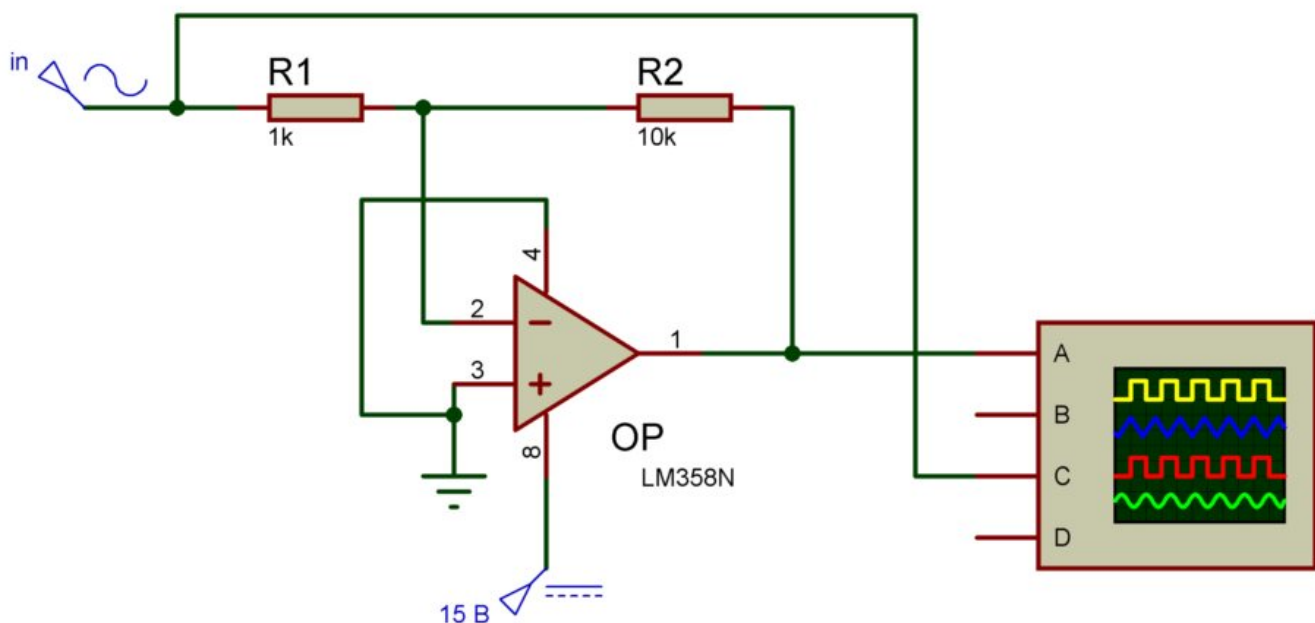
В некоторых случаях нам даже иногда нужно переместить нулевой уровень на более высокий “пьедестал”, чтобы мы могли полностью усиливать сигнал, если дело касается однополярного питания. Работать с однополярным питанием всегда проще и удобнее, чем с двухполярным. Поэтому, в этом случае надо поднять нулевой уровень на некоторый пьедестал, чтобы полностью усиливать переменный сигнал. То есть добавить постоянную составляющую в сигнал. В этом случае схема примет чуть-чуть другой вид:



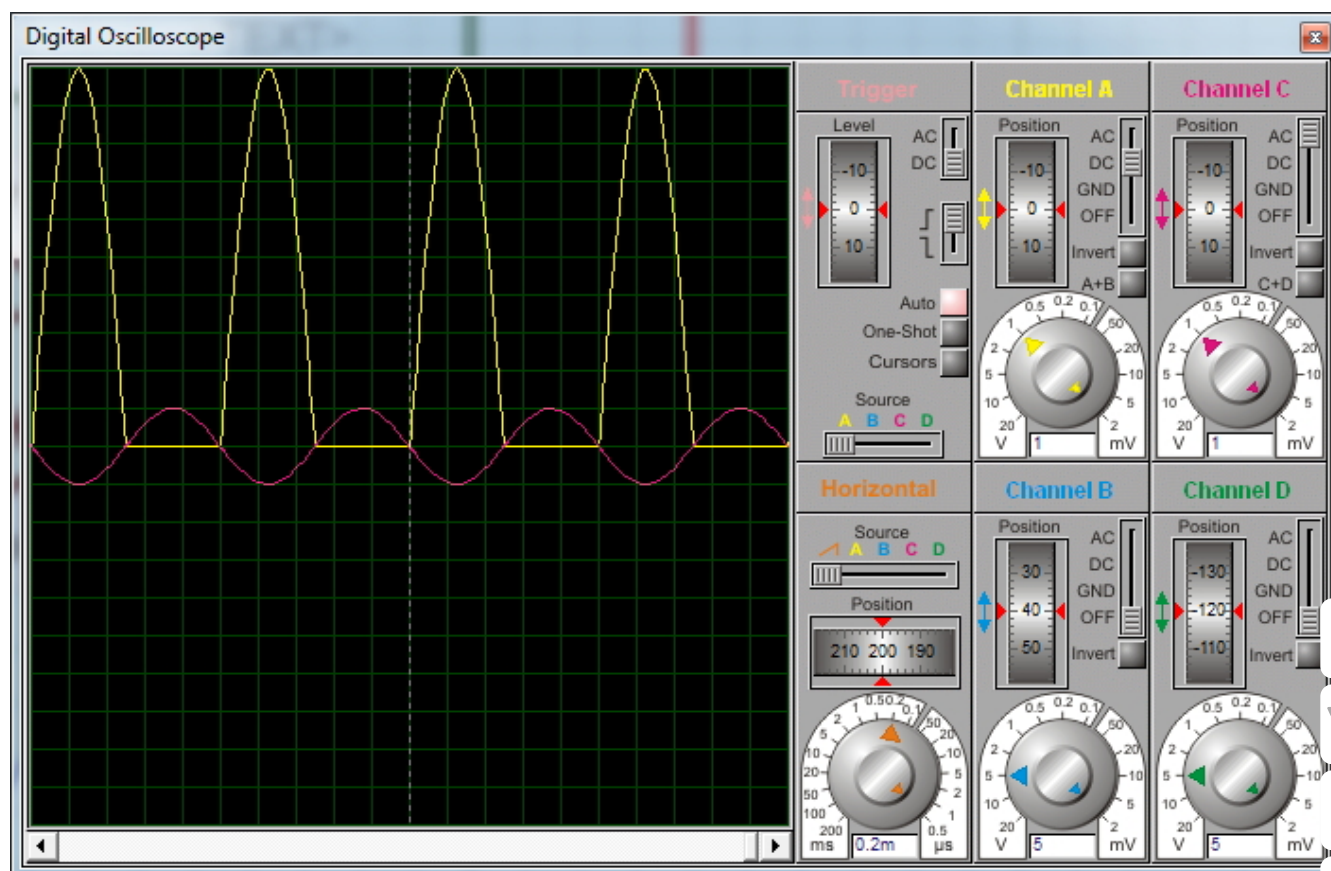
Как можно увидеть, сейчас мы питаем наш ОУ однополярным питанием. Что будет, если мы не инвертирующий выход посадим на землю?



То есть мы получили базовую схему инвертирующего усилителя, но только с однополярным питанием. Давайте протестируем такую схему. Коэффициент усиления в данном случае будет равен 10, так как мы взяли соотношение резисторов 10 килоом и 1 килоом. Загоняю на вход сигнал амплитудой в 1 В.

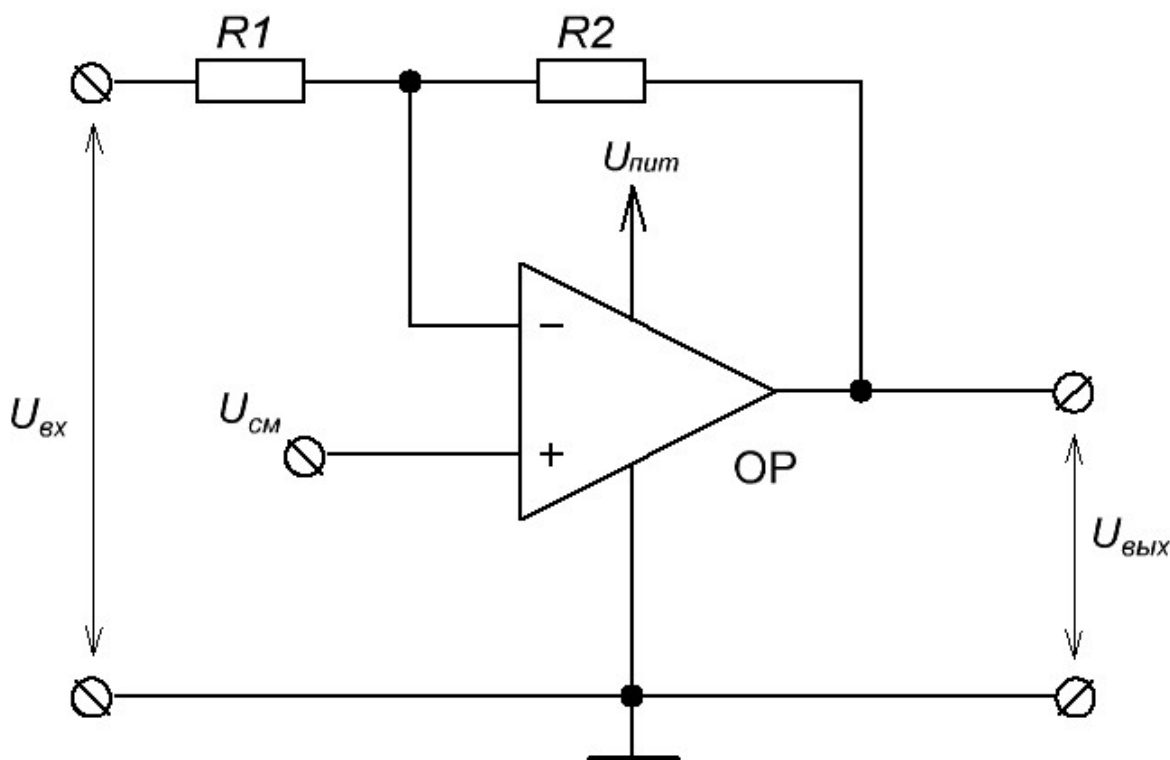


Что имеем в итоге на виртуальном осциллографе?



Как вы видите, в этом случае усиленная полуволна сигнала вырезается полностью. Оно и понятно, так как напряжение питания у нас однополярное и проломить “пол” нулевого потенциала невозможно. Но можно сделать одну хитрость: поднять “уровень пола” и дать сигналу место для размаха.

В этом случае нам надо добавить $U_{см}$, для того, чтобы поднять сигнал над уровнем “пола”. Но не все так просто, дорогие друзья!



Здесь уже будет использоваться более хитрая формула, а не просто вольтдобавка. Приблизительная формула выглядит вот так:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_{\text{СМ}}$$

Итак, мы хотим усилить наш сигнал полностью без среза. Какое же должно быть значение $U_{\text{ВЫХ}}$? Оно должно иметь значение половины $U_{\text{ПИТ}}$, чтобы сигнал ходил туда-сюда без срезов. Но также надо учитывать и коэффициент усиления, иначе получится насыщение выхода, о чем мы писали выше.

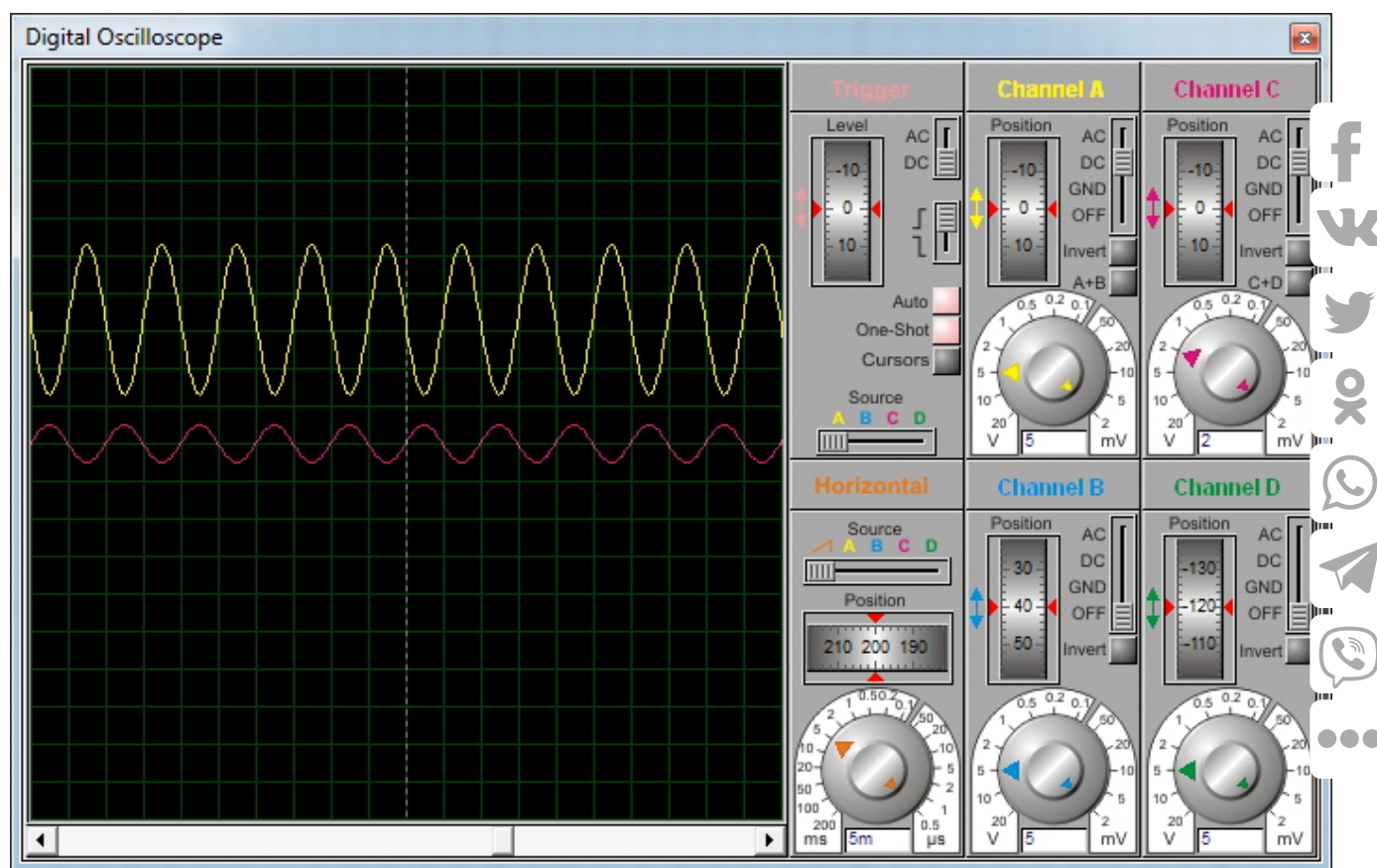
В нашем случае мы хотим увеличить сигнал амплитудой в 1 В в 10 раз. То есть $U_{\text{ПИТ}}$ должно быть как минимум 20 Вольт. Так как ОУ поддерживают однополярное питание до 32 В, то давайте для красоты выставим $U_{\text{ПИТ}} = 30$ В. Рассчитываем $U_{\text{СМ}}$:



$$15 = \left(1 + \frac{10}{1}\right) U_{\text{см}}$$

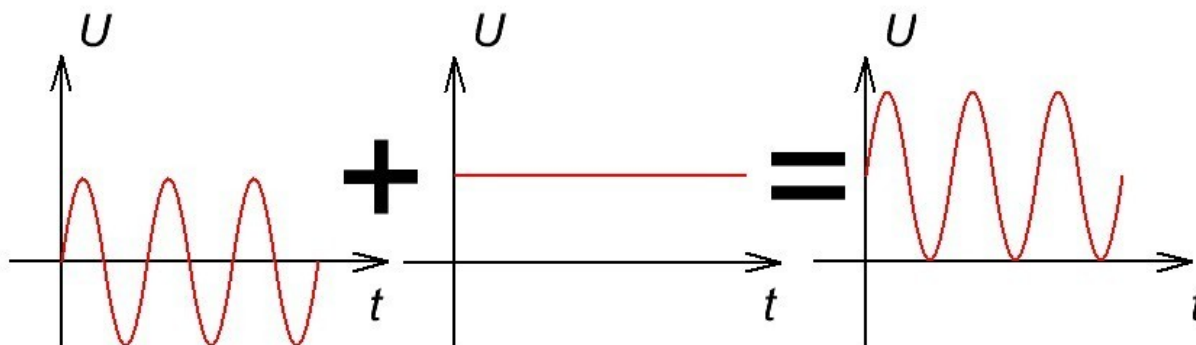
$$U_{\text{см}} = 1,36$$

Проверяем симуляцию, все ок!

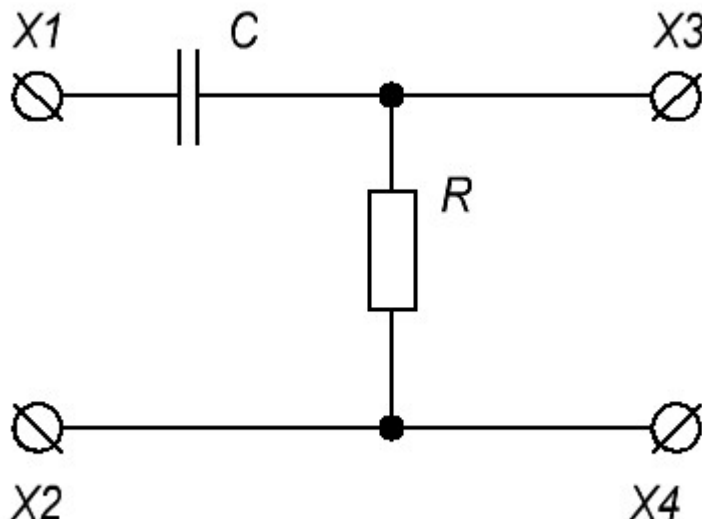


Как здесь можно увидеть, желтый выходной сигнал поднялся над нулевым уровнем и усилился без искажений. В данном случае желтый сигнал – это сумма постоянного напряжения и переменного синусоидального сигнала.

То есть получилось что-то типа вот этого:



Хорошо это или плохо, когда в переменном сигнале есть постоянная составляющая, то есть постоянное напряжение? В некоторых случаях это плохо, потому как такой сигнал трудно использовать, и поэтому чаще всего его прогоняют через конденсатор, так как он пропускает через себя только переменный ток и блокирует прохождение постоянного тока. А еще лучше поставить фильтр из дифференцирующей цепи, с помощью которого можно отсекал лишние частоты.



Свойства инвертирующего усилителя

- » выходной сигнал усилителя инвертирован по отношению ко входному сигналу
- » входное сопротивление такого усилителя равняется сопротивлению R_1

» выходное сопротивление очень мало

Москва



Двухканальный усилитель мощности сигнала JUNTEK DPA-1698

3 549 ₽[Посмотреть](#)

Цифровой усилитель мощности звука 1x10 Вт PAM8610

347 ₽[Посмотреть](#)

Усилитель для наушников FiiO Q1 Mark II

4.5

19 отзывов

9 690 ₽[Посмотреть](#)

Усилитель трансляционный низкоомный MT Power 89502005 PMA-40

8 800 ₽[Посмотреть](#)

Интегральный усилитель Denon PMA-800NE

4.5

6 отзывов

30 900 ₽~~39 990 ₽~~[Посмотреть](#)

Усилитель для наушников M-Audio Bass Traveler

4.5

5 отзывов

3 930 ₽[Посмотреть](#)

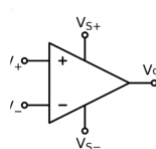
Усилитель для наушников транзисторный Alctron HA4

2 130 ₽[Посмотреть](#)

[Аудиоусилители и ресиверы 286](#) • [Аудиооборудование для концертных залов 1](#) • [О продавцах](#) • [Стать партнёром](#)



Популярные статьи



Неинвертирующий усилитель на ОУ



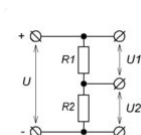
Короткое замыкание



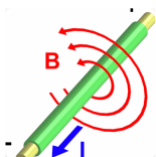
Виды проводов

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{Закон Ома}$$

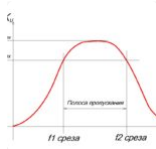
$$I = \frac{N}{t} \quad \text{Сила тока}$$



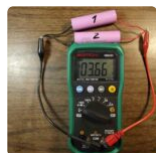
Делитель напряжения



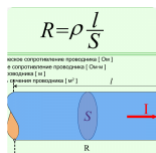
Катушка индуктивности



Что такое АЧХ и ФЧХ



Последовательное и параллельное соединение источников питания



Что такое сопротивление



Основные параметры усилителя



Диод Шоттки



Шунт



Датчик Холла

Добавить комментарий

Комментарии

Ваш комментарий...

Отправить



[Главная](#) [Топ-10](#) [Все статьи](#) [РадиоАли](#) [Форум](#) [Обратная связь](#) [О нас](#)

Практическая электроника © 2020

Все права защищены. Копирование контента разрешается только при наличии активной ссылки и не для коммерческого использования

Хостинг Маххост