

Прикладная электроника

Электротехника, ТОЭ

Уржумцев Олег

Занятие 6. Операционные усилители. Основы цифровых схем. Микроконтроллеры

Инвертирующее и неинвертирующее включение. Двуполярное и однополярное питание. Rail-to-rail усилители. Обратная связь. Временная задержка (конденсатор) в обратной связи

Цифровые схемы

МК

Здесь когда-нибудь будет дизайн

Электронные схемы и компоненты

Компоненты

- Источники тока
 - Элементы питания и батареи
- Линии связи
- Компоненты коммутации (соединения)
- Пассивные
 - Резисторы
 - Конденсаторы
 - Катушки индуктивности
- **Активные**
 - Вакуумные
 - **Полупроводниковые**
- Исполнительные устройства

Recap?

Recap?

- Транзисторы
 - Биполярные
 - Полевые

Литература

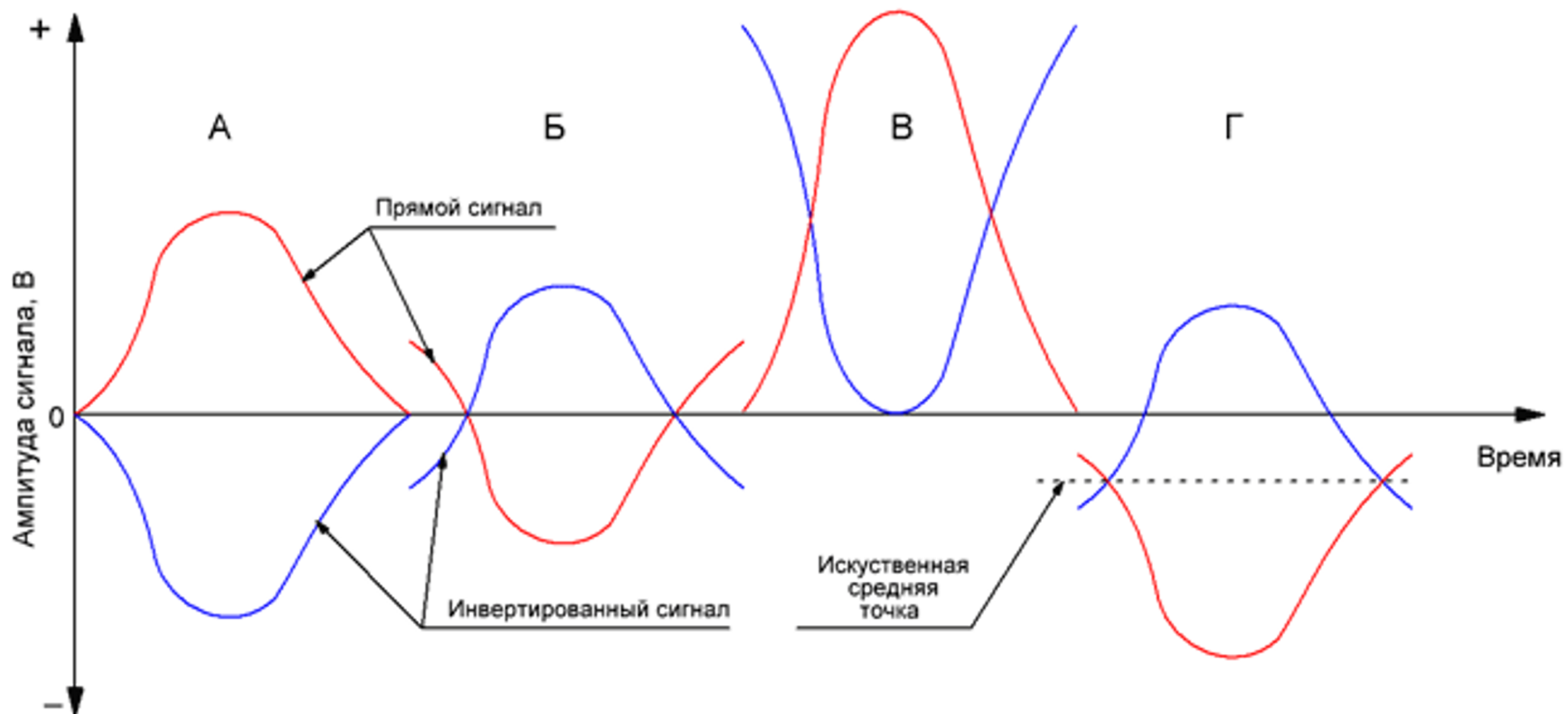
- М. Джонс – [“Электроника – практический курс”](#)
- Покрывает работу дискретных полупроводниковых приборов без лишней теории и физики
- Приводит массу примеров конкретных простых схем с объяснением механизма работы

Операционный усилитель

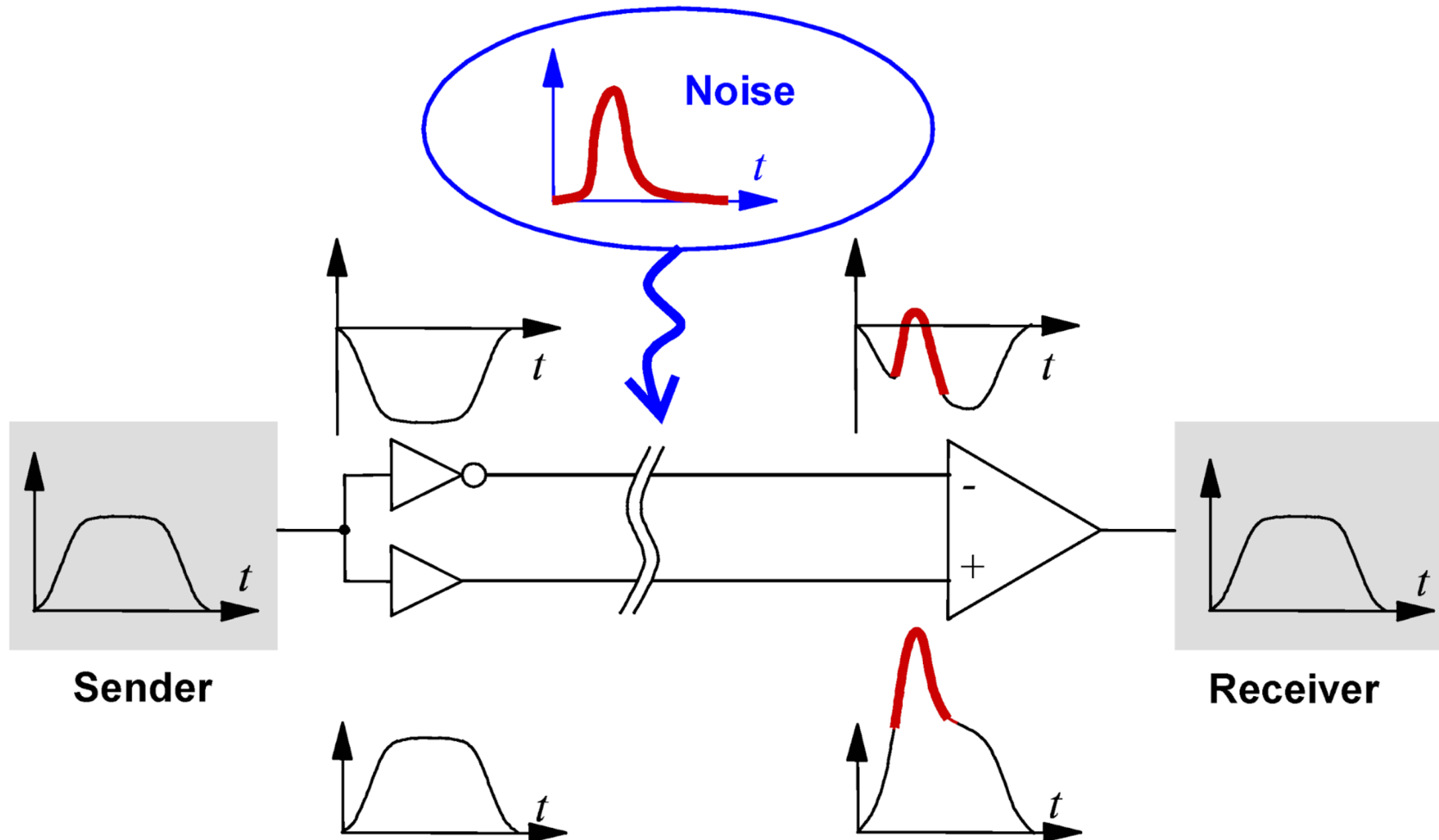
- ОУ является дифференциальным усилителем постоянного тока с двумя входами (инвертирующим и неинвертирующим) и одним выходом.
- ОУ имеет огромный коэффициент усиления, как минимум, 50000...100000, а реально — намного больше. Поэтому, в первом приближении, можно даже допустить, что он равен бесконечности.
- Термин «дифференциальный» («different» переводится с английского как «разница», «различие», «разность») означает, что на выходной потенциал ОУ влияет исключительно разность потенциалов между его входами, независимо от их абсолютного значения и полярности.

Механизм подавления наводок

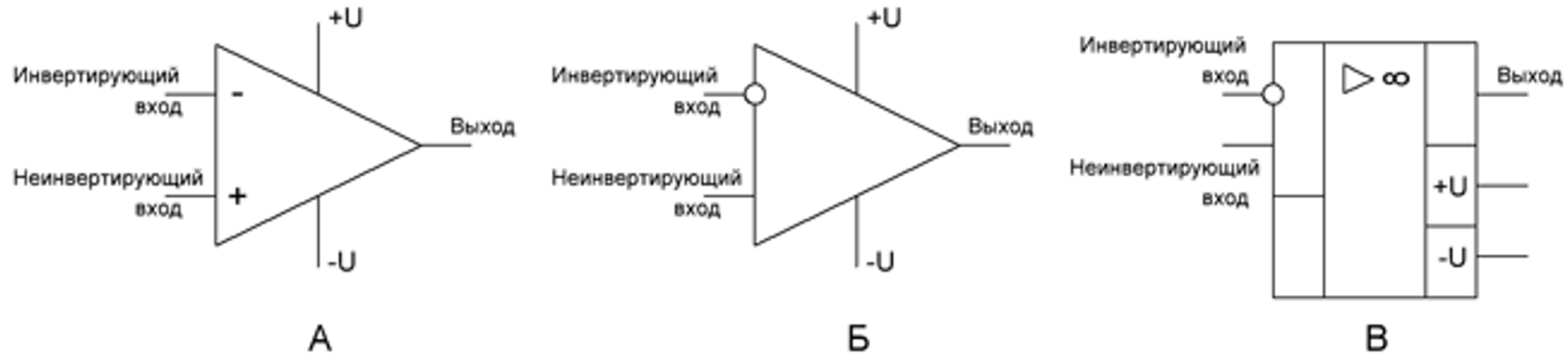
Абсолютное значение сигнала не важно!



Механизм подавления наводок



ОУ на схеме



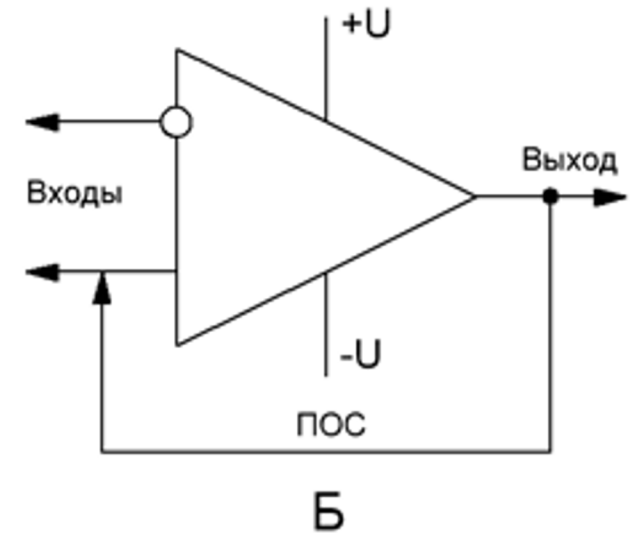
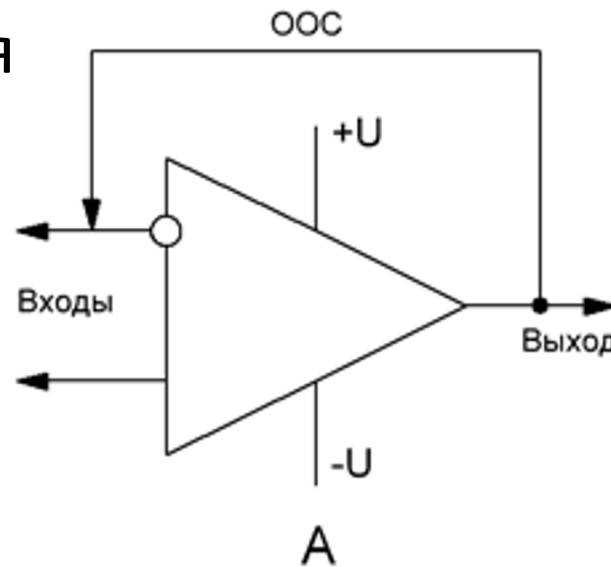
Существуют как ОУ с двуполярным питанием (необходим БП со средней точкой), так и с однополярным (обычный БП с двумя выводами)

Двуполярное питание способствует меньшему уровню шумов

Rail-to-rail усилители: особый класс, $U_{\text{вых}}$ лежит в диапазоне $[+U, -U]$
Обычно $[+U-1..2V, -U+1..2V]$

Обратная связь

ОУ почти всегда используются в схемах с отрицательной обратной связью (ООС)



В первом случае, поскольку выходной сигнал является инверсным по отношению ко входному, он вычитается из входного. В результате общее усиление каскада снижается. Во втором случае — суммируется со входным, общее усиление каскада повышается.

Обратная связь

Отрицательная обратная связь: снижает коэффициент усиления путём подачи напряжения с выхода на вход в обратной полярности (или в прямой – на инвертирующий вход)

- => напряжения вычитаются

- => снижается влияние флуктуаций

Положительная обратная связь: при появлении сигнала на выходе он подмешивается в прямой полярности на (неинвертирующий) вход

- => повышается коэффициент усиления

- => повышается влияние шумов и флуктуаций

- => появляется риск выхода на нестабильный режим

Обратная связь

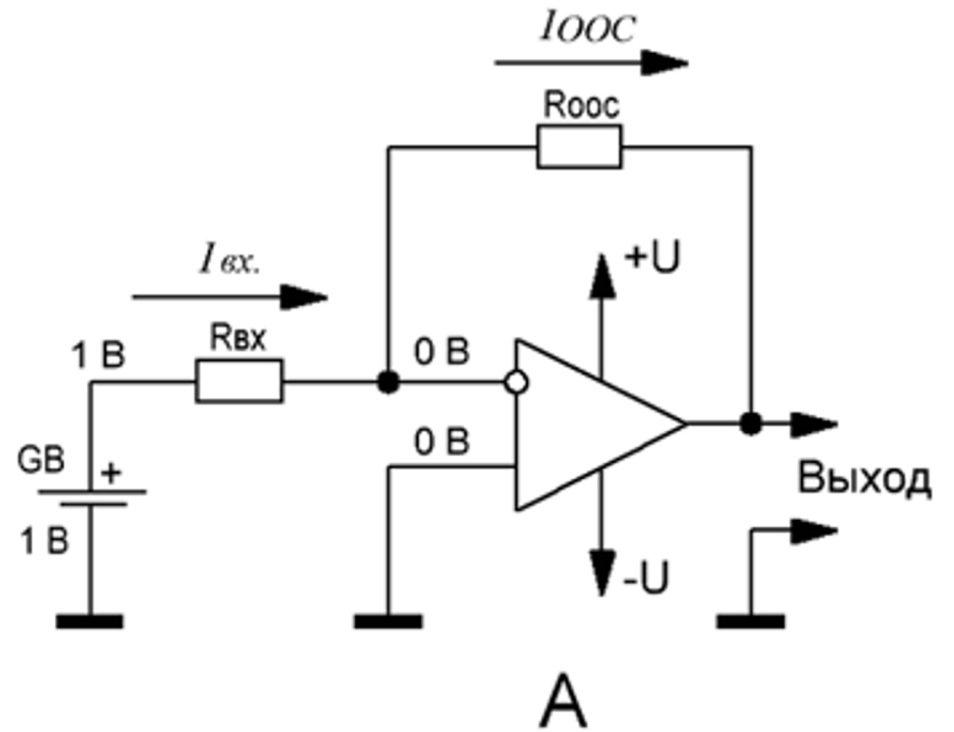
Жертвуя усилением, мы существенно улучшаем другие важные параметры схемы, как, например, её линейность, частотный диапазон и пр. Чем глубже ООС, тем меньше характеристики всей схемы зависят от характеристик ОУ.

Напряжение на выходе ОУ, охваченном ООС, стремится к тому, чтобы потенциал на инвертирующем входе уравнился с потенциалом на неинвертирующем входе.

Обратная связь

Коэффициент усиления задаётся отношением $R_{оос}$ к $R_{вх}$

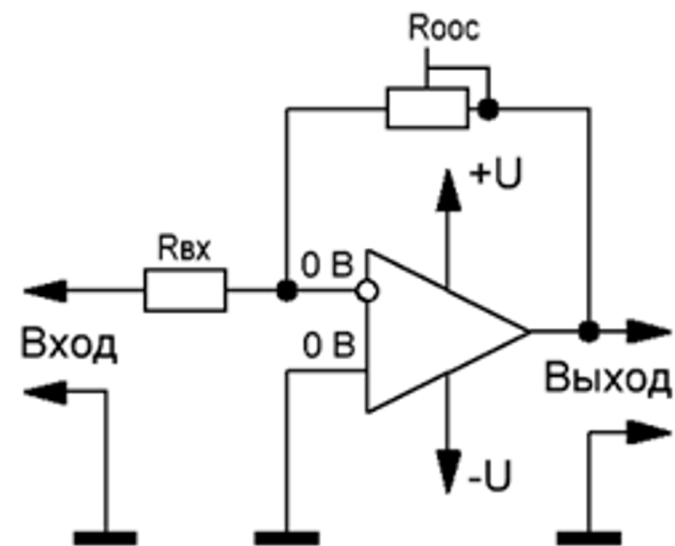
$$K_u = R_{оос} / R_{вх}$$



$R_{оос}$ можно сделать подстроечным, но

- 1) чтобы получить линейную регулировку коэффициента усиления от угла поворота движка переменного резистора, он должен быть с логарифмической зависимостью «Б» (для отечественных) либо «С» (для импортных);
- 2) не все ОУ способны работать стабильно при коэффициенте усиления, близком к 1, а тем более, меньше единицы. Например, К574УД1 желательно использовать с K_u более 6.

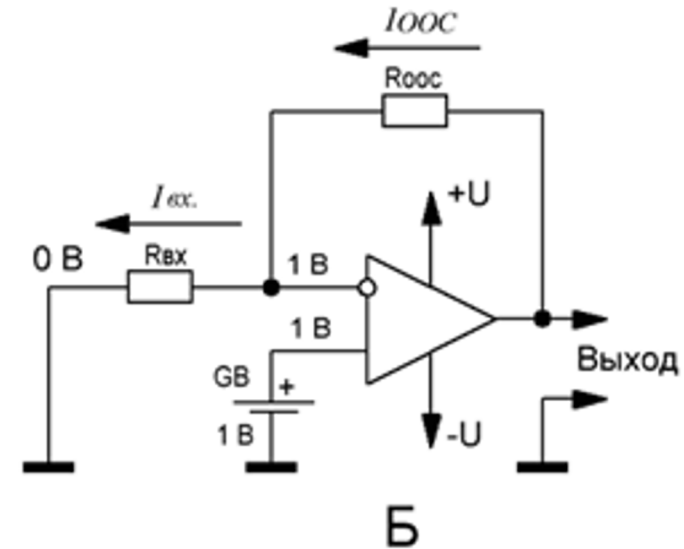
Инвертирующее включение



Неинвертирующее включение

$$K_u = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}} + 1 = (R_{\text{оос}} / R_{\text{вх}}) + 1$$

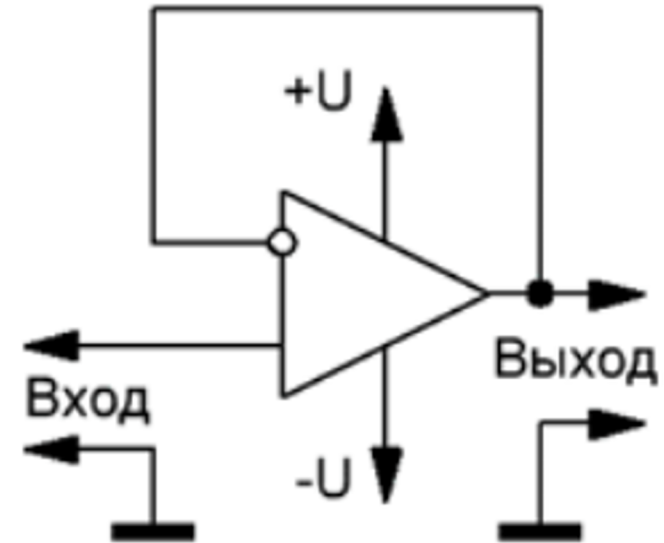
ООС действует точно так же, как и при инвертирующем включении, но согласно Правилу 2, к потенциалу инвертирующего входа в неинвертирующем включении всегда прибавляется потенциал неинвертирующего входа.



Повторитель

Входное сопротивление велико

Позволяет усилить сигнал по току
- например, при измерении напряжения,
когда нельзя влиять на сигнал

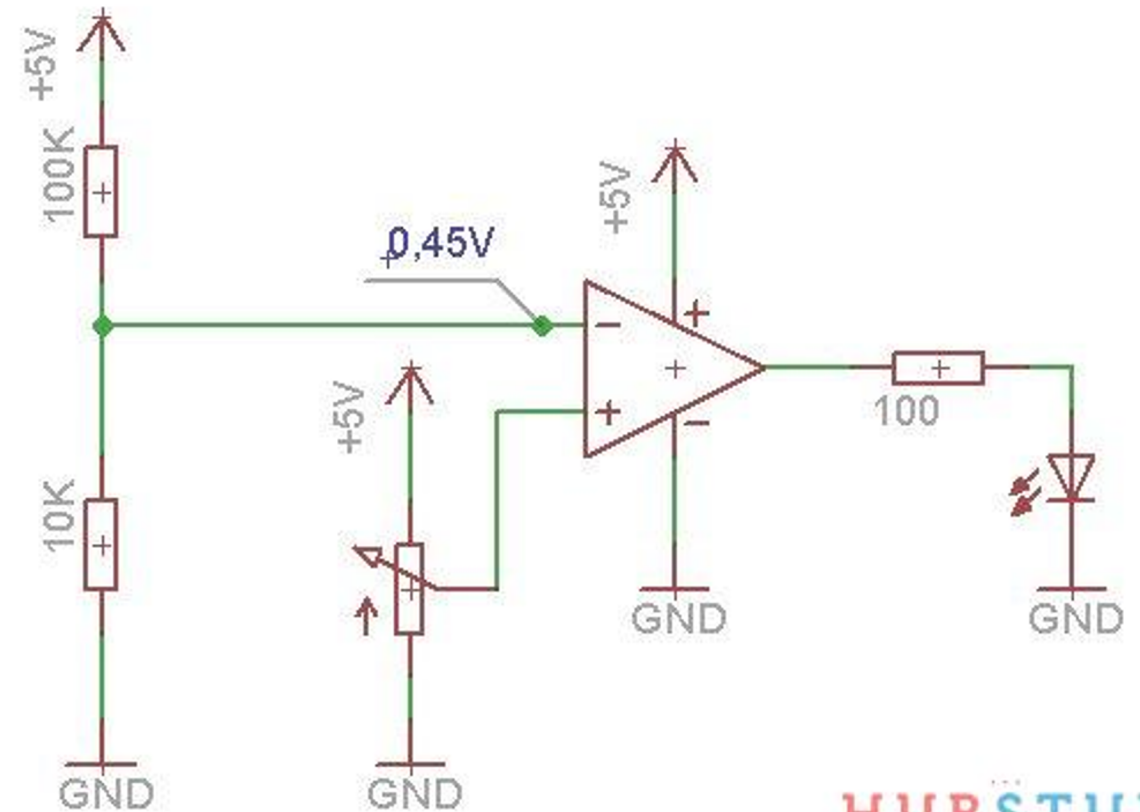


ОУ как компаратор

ОУ без обратной связи может использоваться как компаратор

Более высокое напряжение должно быть на неинвертирующем выходе

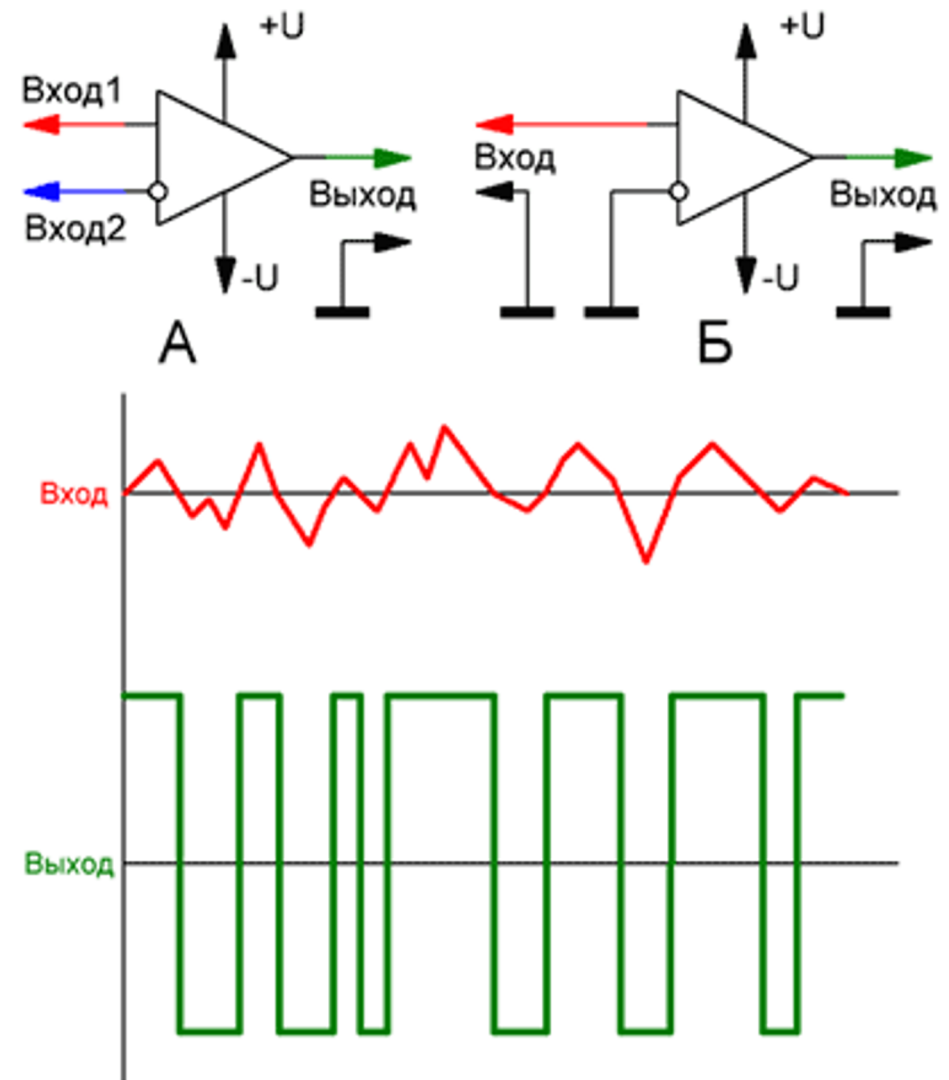
Когда неинвертирующий вход падает ниже инвертирующего входа, выходной сигнал насыщается при отрицательном уровне питания. Выходное напряжение ОУ ограничивается только напряжением питания



ОУ как компаратор

Позволяет оцифровывать сигнал

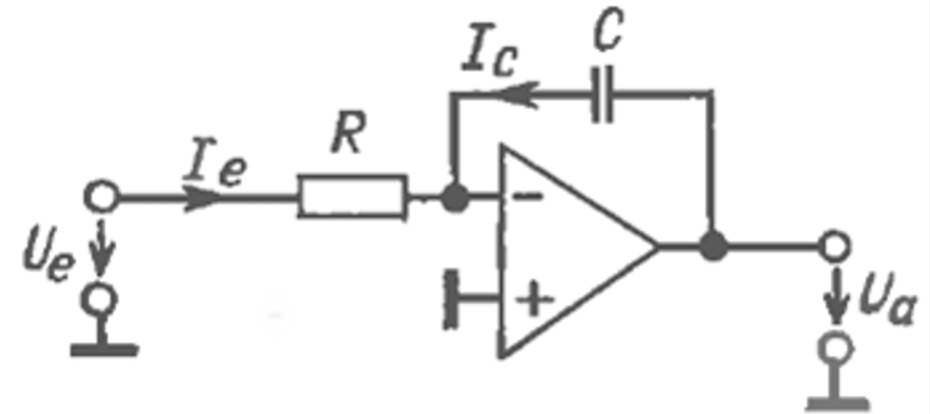
Встроен во многие МК



Задержка в цепи ОС

Позволяет измерять
функции от сигнала во времени

$$\frac{U_{BX}}{R} = -C \frac{dU_{ВЫХ}}{dt},$$
$$U_{ВЫХ} = -\frac{1}{R \cdot C} \int_0^t U_{BX} \cdot d\xi + const$$



Аналоговый интегратор

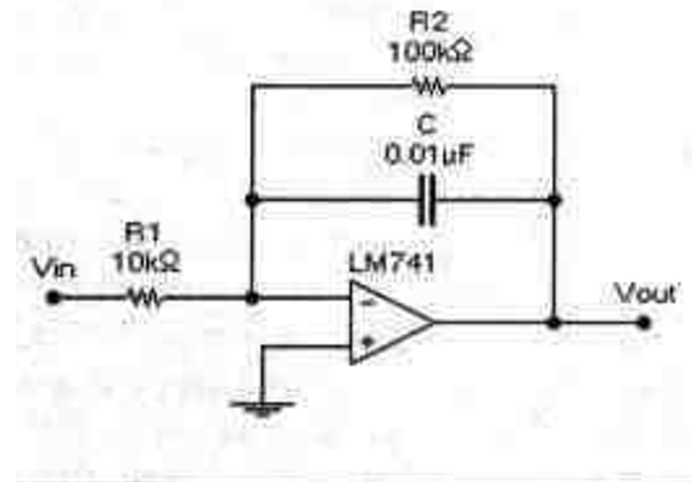
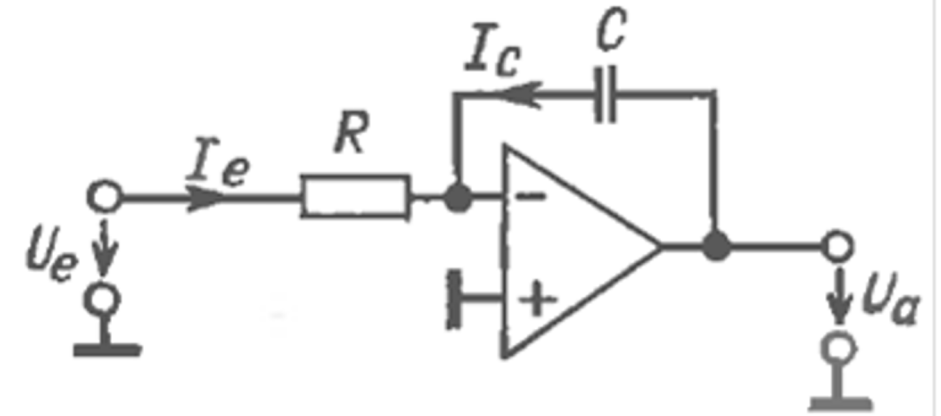
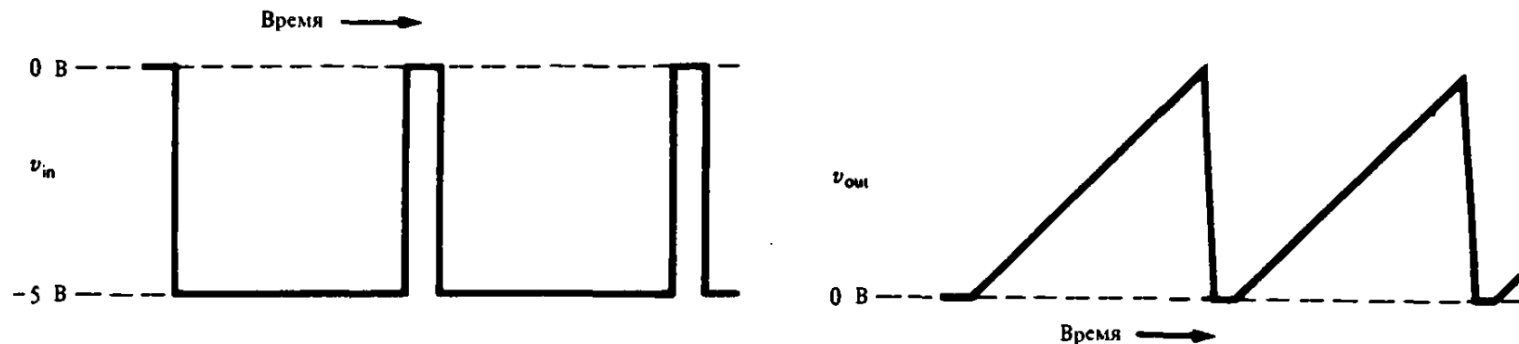


Рис. 11.27

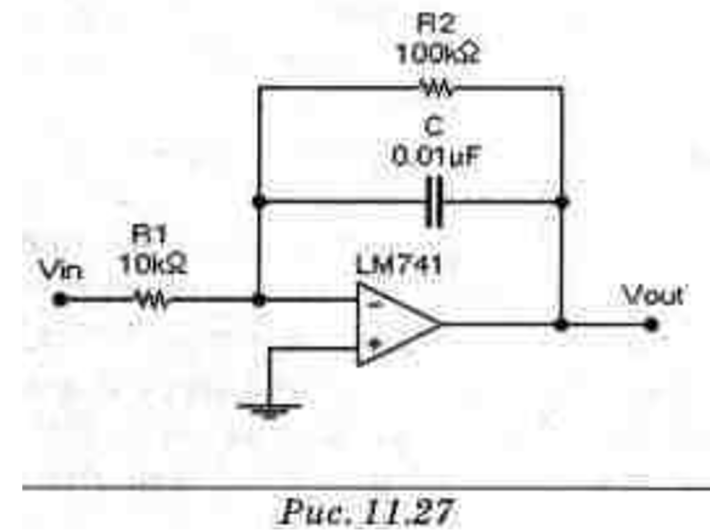
Интегратор

изменение выходного напряжения пропорционально входному сигналу. Схема простейшего интегратора на ОУ показана ниже

Недостаток - дрейф выходного напряжения, обусловленный напряжением смещения и входными токами ОУ. Это нежелательное явление можно ослабить, если к конденсатору C подключить резистор R_2 с большим сопротивлением обеспечивающий стабилизацию рабочей точки за счет обратной связи по постоянному току.

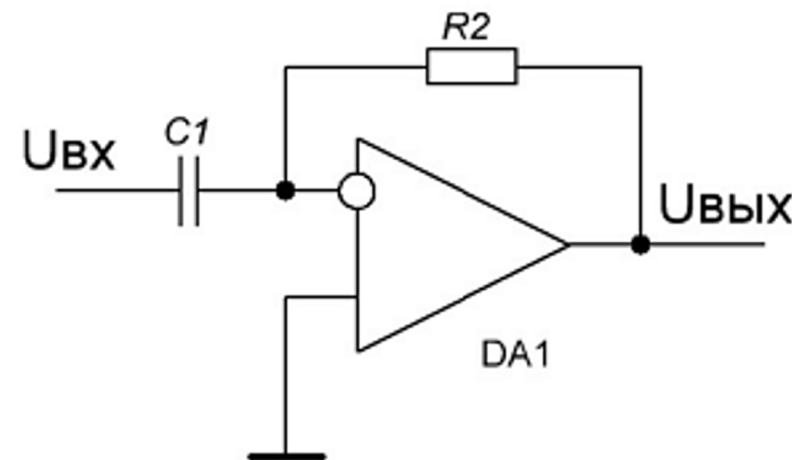


Аналоговый интегратор



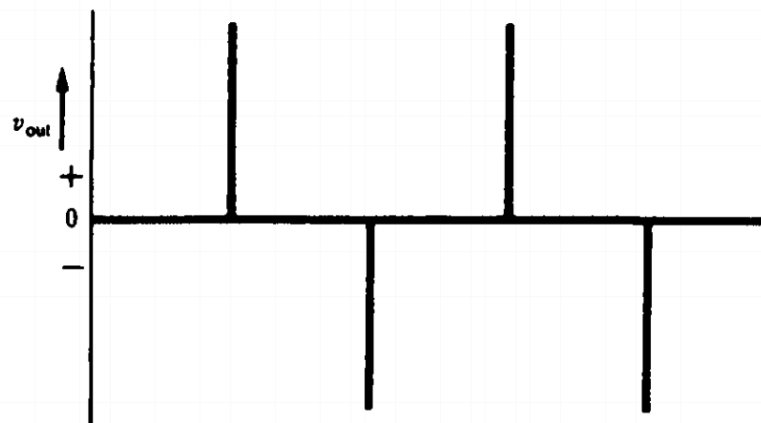
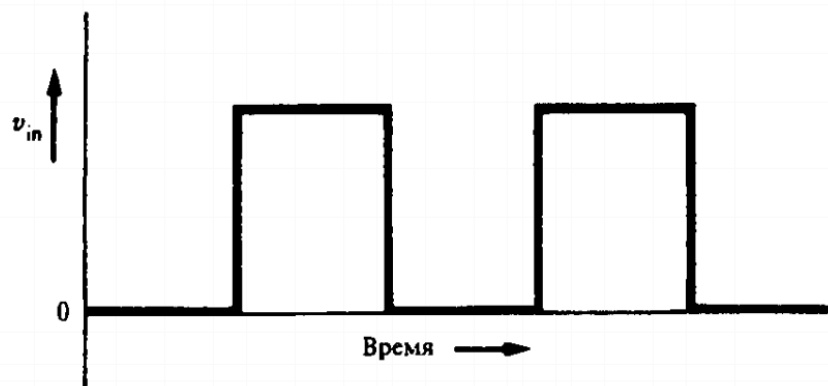
Дифференцирующая схема

Дифференциатор по своему действию противоположен работе интегратора, то есть выходной сигнал пропорционален скорости изменения входного сигнала.



Дифференциатор реализует операцию дифференцирование над входным сигналом и аналогичен действию дифференцирующих [RC и RL цепочек](#), кроме того имеет лучшие параметры по сравнению с RC и RL цепочками: практически не ослабляет входной сигнал и обладает значительно меньшим выходным сопротивлением. Основные расчётные соотношения и реакция на различные импульсы аналогична дифференцирующим цепочкам.

Выходное напряжение составит
$$U_{\text{вых}} = -R_1 C_1 \int_0^t \frac{U_{\text{вх}}}{dt}$$

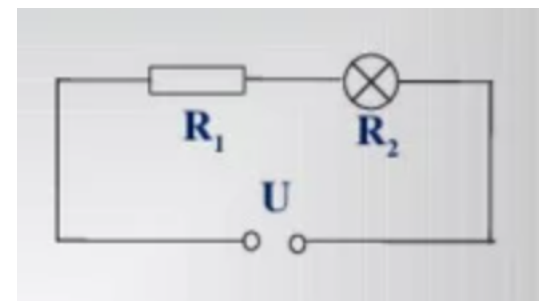


Применение операционных усилителей

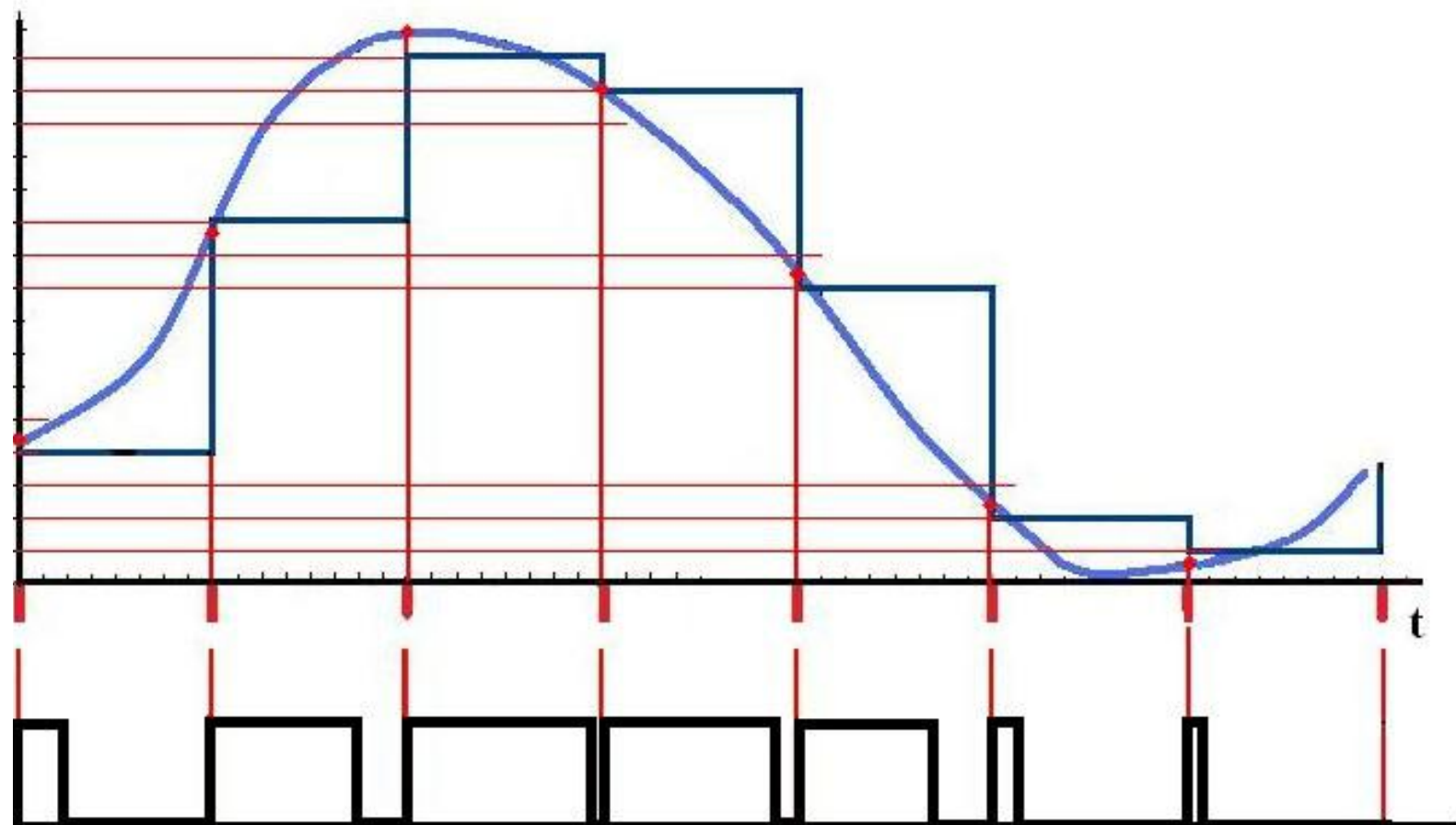
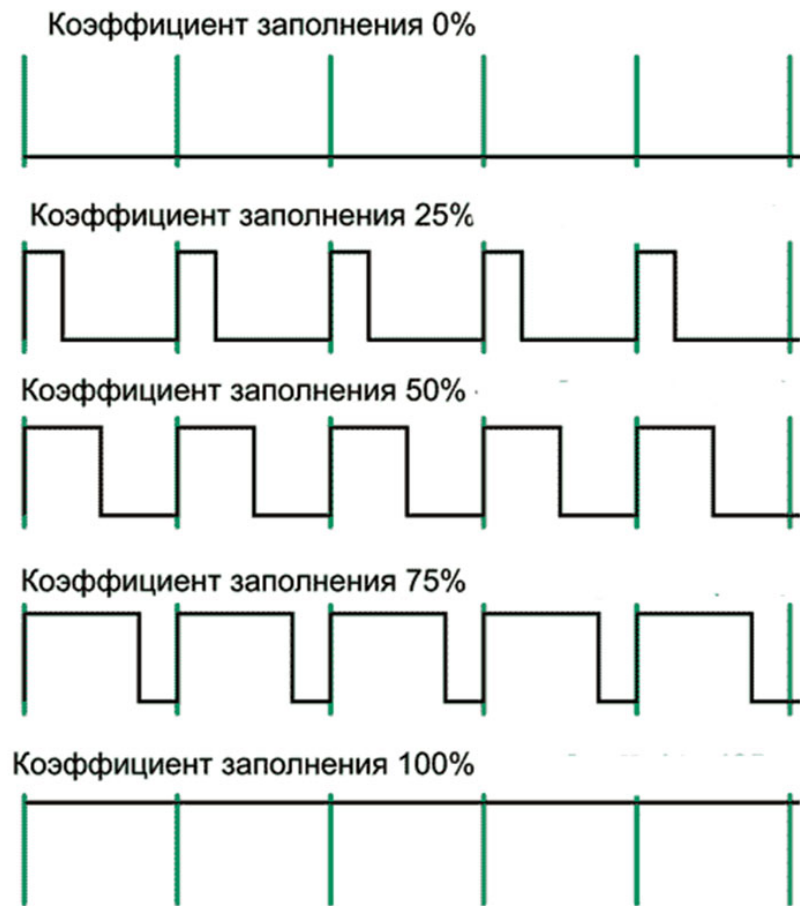
- Усиление слабых сигналов (например, с датчиков)
 - В том числе для подавления шума от источника
- Изоляция источника сигнала от нагрузки
- Применение в качестве порогового элемента
- Использование в интегрирующих и дифференцирующих схемах (аналоговая реализация задержки)
- Применение для генерации сигналов
 - В том числе для схем управления с небольшим числом входных параметров (обычно не более двух, например, для стабилизации температуры или в качестве ШИМ-контроллера)

Широтно-импульсная модуляция

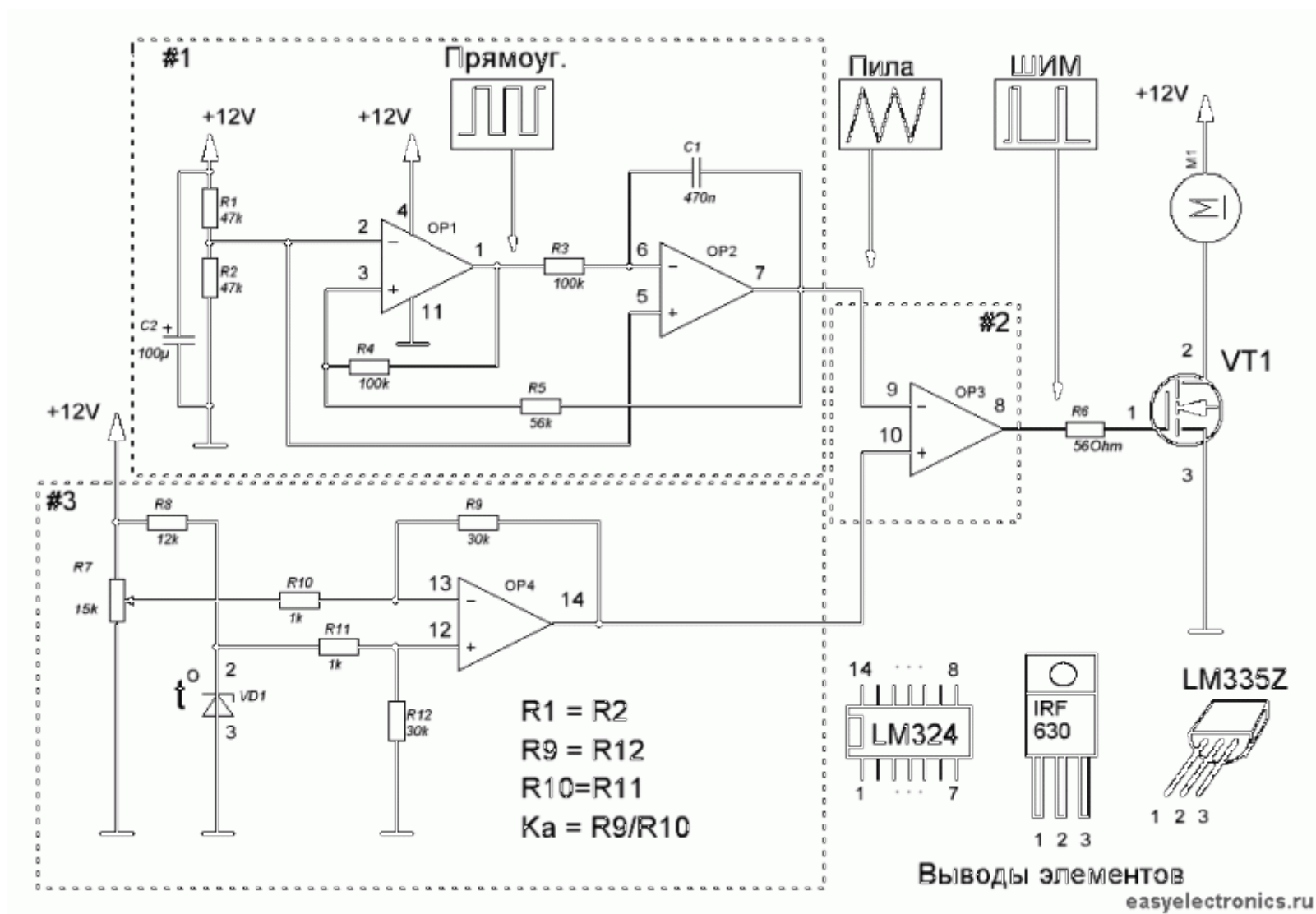
- Нагрузка имеет определённую инерционность
=> вместо линейного регулирования можно включать-отключать
- Способ модуляции мощности нагрузки
- Снижает потери мощности
- Идея: максимальная мощность потерь происходит, когда $R_n = R_d$
 - Пример: термостабилизация (бойлер, утюг)
 - Пример: давление воды
 - Пример: освещение



Широтно-импульсная модуляция



Пример схемы, использующей ШИМ



Полезные ссылки

<http://cxem.net/beginner/beginner96.php> - простым языком про операционные усилители

<http://www.electronicblog.ru/nachinayushhim/sxemy-vklyucheniya-operacionnyr-usilitelej.html> - примеры схем с ОУ

Основы цифровой техники - М. Джонс – [”Электроника – практический курс”](#)