

ЦИФРОВАЯ* СХЕМОТЕХНИКА

**Вспомогательный материал
для консультаций по
выполнению курсового
проекта**

каф. ЭПУ, СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
2017 /2018 учебный год

*** И НЕ ТОЛЬКО ЦИФРОВАЯ...**

**ССЫЛКА
НА
СЛАЙДЫ:**



https://www.dropbox.com/s/7ptqh7wi3sbcfew/EPU_Cxt_Kurs.zip?dl=0

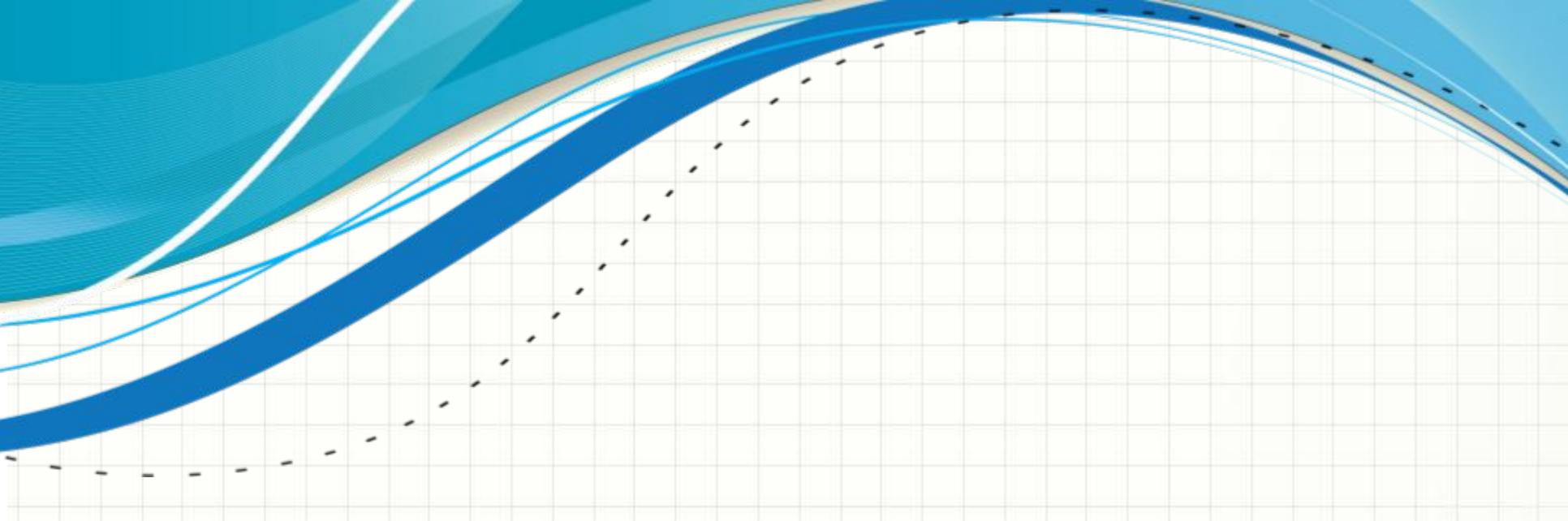
Файлы в архиве по ссылке **будут обновляться** в течение семестра!

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Темы занятий:

1. Общие вопросы и оформление, примеры курсовых работ прошлых лет
2. Выдача заданий, вопросы и ответы по заданиям
3. Расчеты, в т.ч. тепловые
4. Пассивные компоненты и их применение
5. Дискретные компоненты
6. Аналоговые микросхемы
7. Цифровые микросхемы комбинаторного типа
8. Цифровые микросхемы последовательностного типа
9. Типичные случаи заданий на курсовое проектирование (примеры решений)

Всего запланировано 8 пар в семестре. Две из них используются для написания контрольных работ!



ОБЩИЕ ВОПРОСЫ, ОФОРМЛЕНИЕ

Содержание

- Организационные вопросы
- Общие вопросы по оформлению пояснительной записки к курсовому проекту
- Оформление электрических принципиальных схем

Организационные вопросы

- Лучшая форма проведения практических занятий – диалог (а не подобие лекции). Непонятно? Задавайте вопросы!
- Консультироваться вне часов занятий можно у преподавателей Ухова или Герасимова (ауд. 5164). Ответим на вопросы при наличии времени.

Чего не стоит делать:

- Не знать закон Ома или правила Кирхгофа (см. ниже)
- Тянуть с выполнением работы до конца семестра.
- Приносить в качестве схемы по заданию выдержку из журналов и публикаций. Ничего подходящего вы просто не найдете!
- Приносить на защиту работу, выполненную кем-то «на заказ». Вариант «мне помогали» преподаватели видят с первого взгляда.
- **Защита к/р заключается в обсуждении достигнутого результата. Оценка «неудовлетворительно» ведет к выдаче нового задания. Столько раз, сколько**



Простые вопросы, ответы на которые нужно знать всегда

- На направлении «схемотехника» каф. ЭПУ существует список вопросов, правильные ответы на которые студент должен давать **всегда, быстро и правильно**
- Объявление со списком вопросов вывешивается на доске из года в год
- Получив «двойку» за незнание закона Ома – не удивляйтесь!
- **В конце семестра вы должны знать ответы на первые ДВА блока вопросов (аналоговая и цифровая СХТ)**
- **Сейчас (в начале семестра) вы должны знать только вопросы аналоговой СХТ**

Внимание! Студентам 3-4 курсов бакалавриата и магистров!

Настоящие вопросы предназначены для проверки знаний студентов кафедр ЭПУ. Вопросы предназначены для проверки знаний студентов в области схемотехники аналоговых и цифровых устройств. Вопросы предназначены для проверки знаний студентов в области схемотехники аналоговых и цифровых устройств. Вопросы предназначены для проверки знаний студентов в области схемотехники аналоговых и цифровых устройств.

Вопросы вывешиваются с 20 мая 2013 года.

Аналоговая схемотехника:

1. Какое правило направлено на устранение ошибок в схемах направлено?
2. Изобразите ВАХ кремниевого диода.
3. Запишите закон Ома для участка цепи.
4. Прямая или обратная связь?
5. Рассчитайте мощность, выделяющуюся на резисторе заданного сопротивления, если известно, какая через него протекает ток, либо какое к нему приложено напряжение.
6. Рассчитайте резистор для подключения светодиода к источнику питания. Стандарты светодиода и нахождение источника питания заданы.
7. Рассчитайте резистор, устанавливаемый на входе цепи, состоящей из Выходного транзистора.
8. Изобразите делитель тока на 4-х диодах и поясните его и источник пороговой нелинейной и обратные выпрямители.
9. Чем аналоговый микросхемный элемент отличается от цифрового элемента?
10. Прямые и обратные каналы операционного усилителя.
11. Рассчитайте коэффициент усиления усилителя на ОУ (универсальный, инвертирующий).
12. Рассчитайте напряжение на выходе делителя, построенного на двух резисторах.
13. Изобразите эквивалентную схему элементов схемы простейшего импульсного генератора при интегрирующей или дифференцирующей RC-цепи.
14. Что такое балансовые конденсаторы и какие у них достоинства и недостатки?
15. Для чего в источнике питания нужен разделительный конденсатор? Какой емкости?
16. Какое назначение диода в цепи стабилизации тока?
17. Как зависит напряжение стабилизации конденсатора и какие особенности у него?

Цифровая схемотехника:

1. Сколько битов в Байте (и наоборот) распространены понятия слов «Бит» и «Байт»?
2. Сколько битов требуется, чтобы записать целое положительное число (каждо разрядное представление на десятичной O-цифре)?
3. Запишите двоичное представление числа, равное 1 (десяти одна).
4. Сколько разностей между двоичными числами, равными целому числу, равным N (N указывается в десятичной O-цифре)?
5. Какое минимальное число битов требуется, чтобы записать целое положительное число, равное N (N указывается в десятичной O-цифре)?
6. Какие двоичные операции вы знаете?
7. Что такое операции сложения и вычитания?
8. Что означает логический уровень сигнала «0» (Low / Logic 0 / Logic High)?
9. Что означает логический уровень сигнала «1» (High / Logic 1 / Logic High)?
10. Что такое логический элемент и как логический элемент в схеме можно реализовать (обозначить)?
11. Как сделать так, чтобы логический элемент работал в режиме инвертирующего элемента?

Микропроцессорная техника, микроконтроллерный процессор:

1. Сколько битов в байте (и наоборот) распространены понятия слов «Бит» и «Байт»?
2. Запишите двоичное представление числа 1 (десяти одна).
3. Запишите двоичное представление числа 255 (десяти двести пятьдесят пять).
4. Переведите в десятичный вид шестнадцатеричное число на десятичной O-цифре.
5. Запишите двоичное представление числа N (N указывается в десятичной O-цифре).
6. Запишите двоичное представление числа N (N указывается в десятичной O-цифре).
7. Запишите двоичное представление числа N (N указывается в десятичной O-цифре).
8. Что такое логический элемент и как логический элемент в схеме можно реализовать (обозначить)?
9. Что такое логический элемент и как логический элемент в схеме можно реализовать (обозначить)?
10. Что такое логический элемент и как логический элемент в схеме можно реализовать (обозначить)?
11. Что такое логический элемент и как логический элемент в схеме можно реализовать (обозначить)?
12. Что такое логический элемент и как логический элемент в схеме можно реализовать (обозначить)?
13. Что такое логический элемент и как логический элемент в схеме можно реализовать (обозначить)?

Обращаем ваше внимание, что список вопросов имеет накопительный характер. Вопросы, которые вы не знаете, вы должны знать в начале семестра. При сдаче экзамена по предмету вы должны знать ответы на все вопросы, которые вы не знаете. Список вопросов может быть изменен и дополнен, вы должны знать ответы на все вопросы. Для публикации дополнительных вопросов обратитесь к своему преподавателю.

УТВЕРЖДАЮ:

«15» мая 2013 г. _____ Заведующий кафедрой ЭПУ, д.т.н., проф. Петрухин Н.К.



Вопросы – аналоговая СХТ:

1. Каково падение напряжения на кремниевом диоде, смещенном в прямом направлении?
2. Изобразите ВАХ кремниевого диода.
3. Запишите Закон Ома для участка цепи.
4. Приведите два Правила Кирхгофа.
5. Рассчитайте мощность, выделяющуюся на резисторе заданного сопротивления, если известно, какой через него протекает ток, либо какое к нему приложено напряжение.
6. Рассчитайте резистор для подключения светодиода к источнику питания (параметры светодиода и напряжение источника питания задаются).
7. Рассчитайте резистор, ограничивающий ток в базу ключа, построенного на биполярном транзисторе.
8. Изобразите диодный мост на 4-х диодах и подключите его к источнику переменного напряжения в качестве выпрямителя.
9. Чем аналоговый компаратор отличается от операционного усилителя?
10. Приведите «золотые» правила операционного усилителя.
11. Рассчитайте коэффициент усиления усилителя на ОУ (инвертирующего, неинвертирующего).
12. Рассчитайте напряжение на выходе делителя, построенного на двух резисторах.
13. Изобразите качественно, как изменяется форма прямоугольного импульса после прохождения им интегрирующей или дифференцирующей RC-цепи.
14. Что такое блокировочные конденсаторы в цепях питания и для чего они нужны?
15. Для чего в источниках питания после диодного моста ставится конденсатор большой емкости?
16. Какова амплитуда напряжения в промышленной сети 220 В 50 Гц?
17. Как зависит реактивное сопротивление конденсатора и катушки индуктивности от

Требования к курсовой работе

- Вам предлагается решить практическую задачу создания схемы электронного устройства по кратко сформулированному заданию.
- Что должно быть в пояснительной записке:
 - Назначение устройства.
 - Структурная схема устройства и ее описание.
 - Описание работы устройства по блокам с обоснованием выбора типовых элементов и временными диаграммами.
 - Расчет элементов схемы устройства.
 - Электрическая принципиальная схема устройства.
 - Перечень элементов электрической принципиальной схемы.
 - Список использованной литературы.

Назначение устройства

- Данный раздел по сути представляет собой пересказ задания на курсовой проект *техническим языком*
- Пример задания:

Цифровой регулятор мощности нагрузки 220В, 50Гц.

Установка мощности осуществляется двумя кнопками «больше» и «меньше», путем выбора одного из 8 значений. Индикация установленного значения осуществляется при помощи линейки из восьми светодиодов. В случае если выбрано среднее значение, включены первые 4 светодиода. Нажатие на кнопку «меньше» в момент, когда установлено минимальное значение, приводит к полному отключению нагрузки (ни один индикатор не включен). Нажатие на кнопку «больше» при установленном максимальном значении игнорируется.

Управление нагрузкой осуществляется симистором, мощность регулируется за счет изменения угла (фазы) открытия симистора.

Ток потребления нагрузки не превышает 10А, питание цепей устройства осуществляется от линейного источника напряжения на 5В (разработать), допускается наличие электрической связи между цепями устройства и линиями питающей сети 220В, 50Гц.

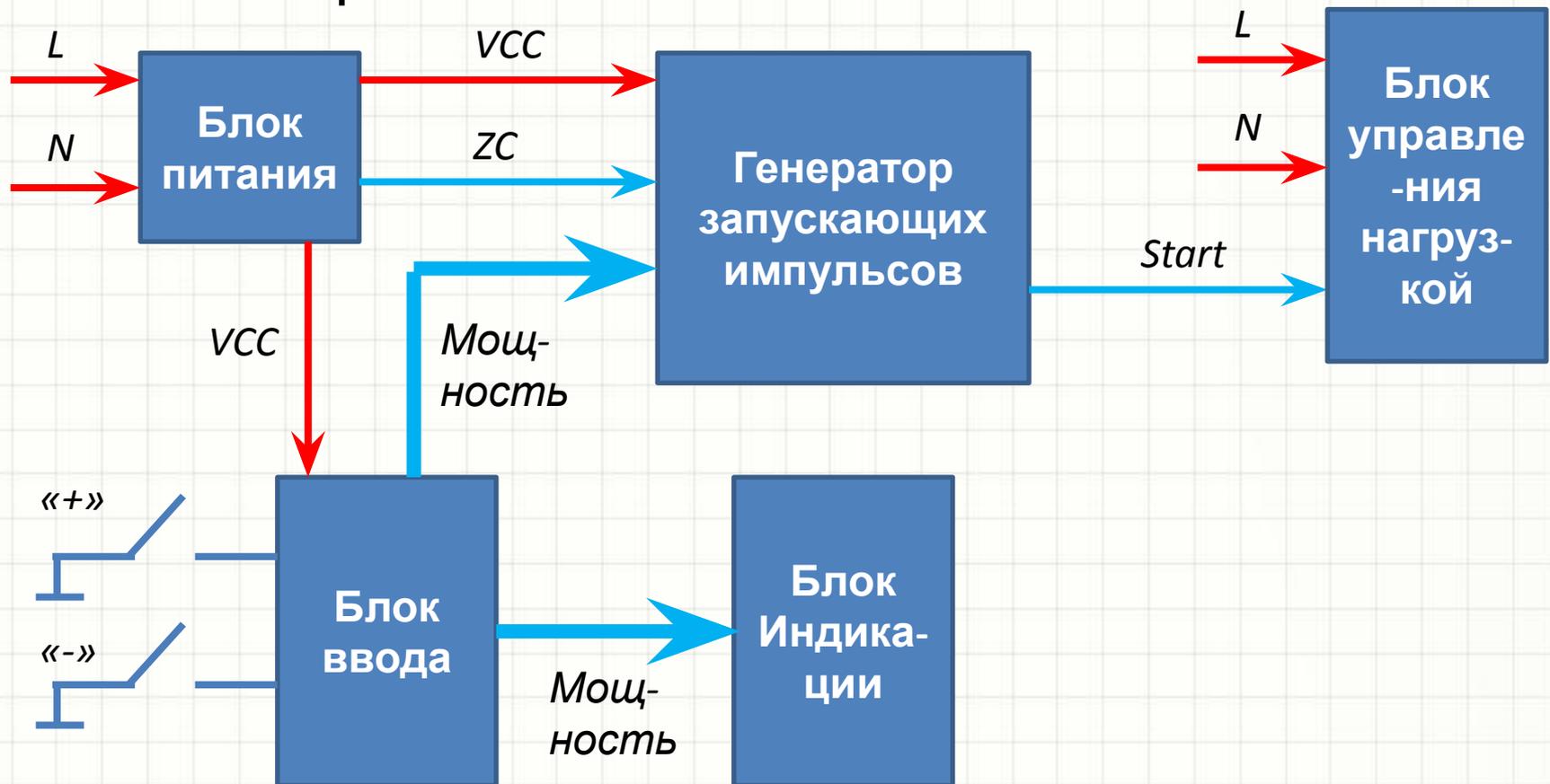
После подачи питания устройство находится в состоянии «выключено» (т.е. не подает мощность в нагрузку). Тепловой режим симистора рассчитать.

Назначение устройства

- Что можно написать в разделе «назначение устройства»:
 - Разрабатываемый прибор является системой фазового управления симистором, т.е., фактически, **генератором открывающих симистор импульсов небольшой длительности**
 - Время, выдерживаемое между моментом пересечения нуля питающим напряжением и запуском симистора, управляет мощностью (чем больше это время, тем меньше подается мощности на нагрузку)
 - Это время меняется по командам пользователя при помощи двух клавиш
 - Иными словами, **устройство представляет собой генератор временных интервалов программируемой длительности**
 - Выбранный уровень мощности отображается на шкальном индикаторе

Структурная схема устройства и ее описание

- Для примера с фазовым управлением симистором:



Временные диаграммы

- Изображать временные диаграммы нужно не всегда, а только когда это облегчает понимание схемы. *Изобразим временные диаграммы для нашего устройства из примера на доске!*
- Изображать временные диаграммы типовых узлов (например, мультивибраторов) не нужно. Только – если это поможет вам защищать работу
- Полезно изобразить временные диаграммы сложных цифровых узлов (их еще называют тактовыми диаграммами)
- Особых правил составления временных диаграмм нет – они составляются примерно так, как это было на лекциях!

Оформление электрических принципиальных схем

- Разработка описания работы устройства по блокам , временные диаграммы блоков, расчеты и составление электрических принципиальных схем – **единый процесс создания прибора**
- Конечным и главным результатом работы над проектом является комплект листов электрических принципиальных схем

По секрету: остальную часть к/р преподаватели просматривают «одним глазом» 😊

- Не нужно создавать «простыни» формата А1 или А0
- Если схема не уместится на формате А3, ее следует разбить на блоки и изобразить каждый из них на А4 или А3

Оформление электрических принципиальных схем

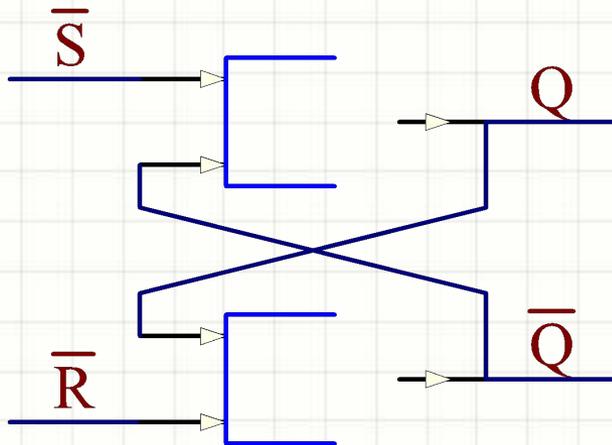
- Главный вопрос – в чем рисовать схемы?
- **В рамках курса специальное ПО для составления схем не преподается**
- Это значит, что схемы можно оформлять:
 - Вручную при помощи карандаша и линейки
 - При помощи графического ПО общего назначения (MS Office Visio, CorelDRAW, Adobe Illustrator и т.д.)
 - При помощи чертежных систем общего назначения (AutoCAD, КОМПАС и т.д.)
 - При помощи какой-либо системы ECAD (P-CAD, **Altium Designer**, Proteus, KiCAD, MultiSim, OrCAD и т.д.)

Выбор ПО для составления схем

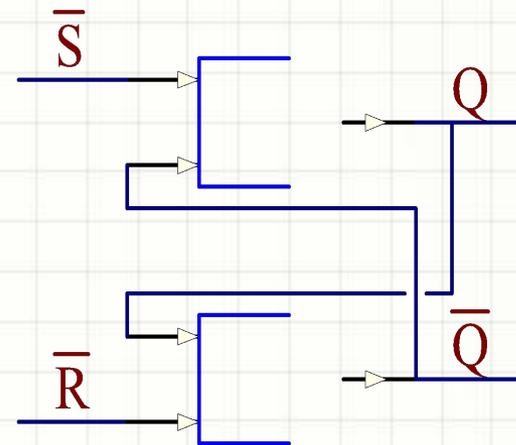
- Все профессиональные (ЕСАD) системы предназначены не только для составления схем, но и для:
 - Моделирования схем
 - Разработки печатных плат
 - Производства изделий
- От схемы в курсовом проекте перечисленное ***не требуется***, так что любую ЕСАD-систему можно использовать просто как удобный графический редактор и не более

ГОСТ или не ГОСТ?

- Существуют жесткие стандарты РФ на оформление схем
- Ряд EСAD-систем по умолчанию создают схемы, не соответствующие ГОСТ РФ
- Стремиться соответствовать ГОСТ на 100% не нужно!
- Главное, чтобы схема была:
 - Легко читаемой
 - Оформленной в едином стиле
 - Правильной по сути (а не по форме)!

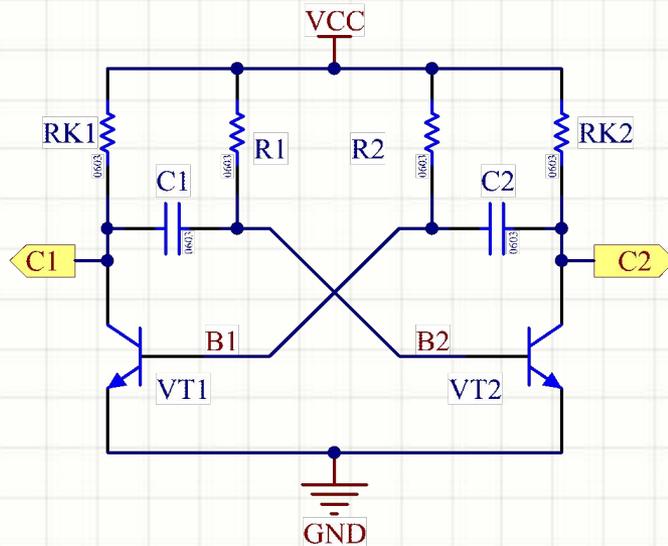


Правиль

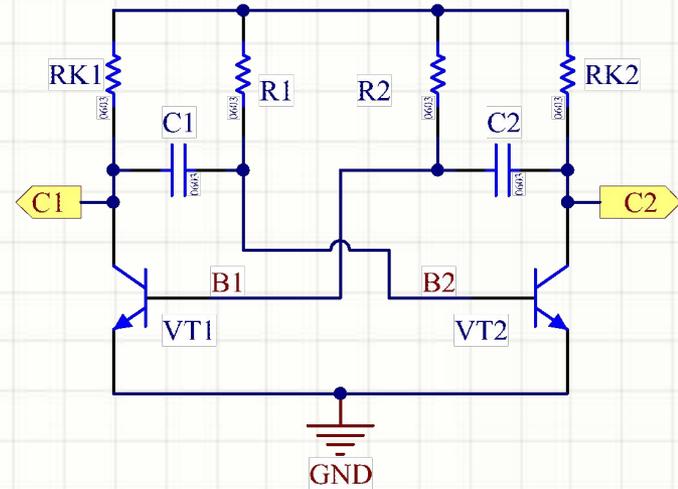


Неправиль

ГОСТ или не ГОСТ?



Правильно
НО



Неправильно
НО

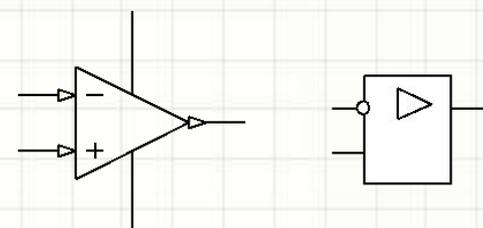
- Как видите, иногда отступать от требований ГОСТ / ЕСКД весьма полезно
- Тем не менее, «изобретать» свои обозначения компонентов точно не стоит! Вас просто никто не поймет

Из чего состоит схема?

- Условные графические обозначения электронных компонентов (УГО)
- Соединительные линии, показывающие цепи схемы
- Шины, имена и номера цепей, порты («стрелки» с именами цепей)
- Подписи к УГО – позиционные обозначения, типы, номиналы
- Комментарии, элементы навигации

УГО

- Существует две традиции изображения УГО – российская (советская) и западная
- Можно использовать УГО обоих типов
- Лучше, чтобы в одном комплекте схем не возникало **смеси** эти двух традиций

Электронный компонент	Варианты условного графического обозначения
Резистор постоянный	
Конденсатор электролитический	
Операционный усилитель	
Логический элемент «И»	
Транзистор биполярный типа <i>n-p-n</i>	

УГО

- Очень важно придерживаться единого подхода в указании:
 - Позиционных обозначений
 - Номиналов электронных компонентов (рекомендуется отражать их на схеме)
- Если это правило нарушено, все преимущества любой ECAD-системы не будут задействованы
- *Даже если вы все делаете вручную, сразу приучайте себя к порядку!*

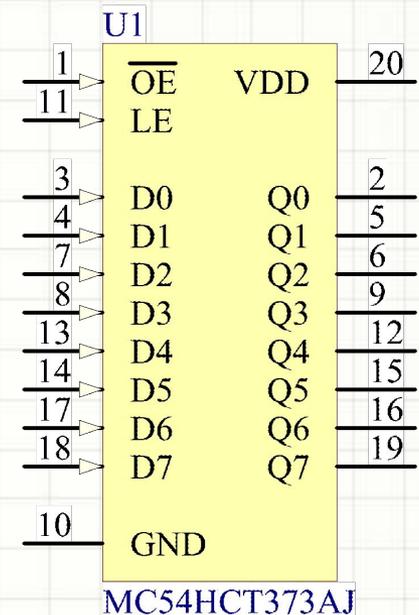
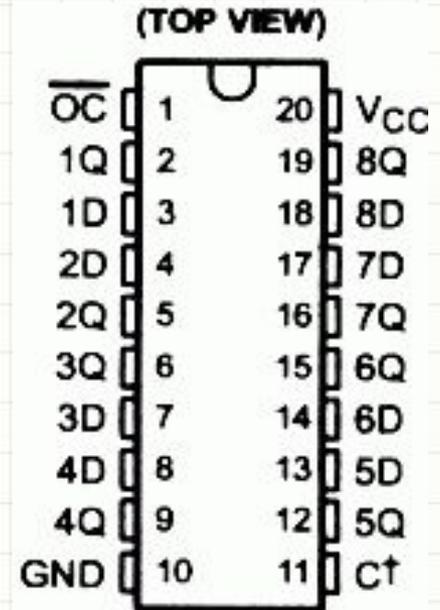
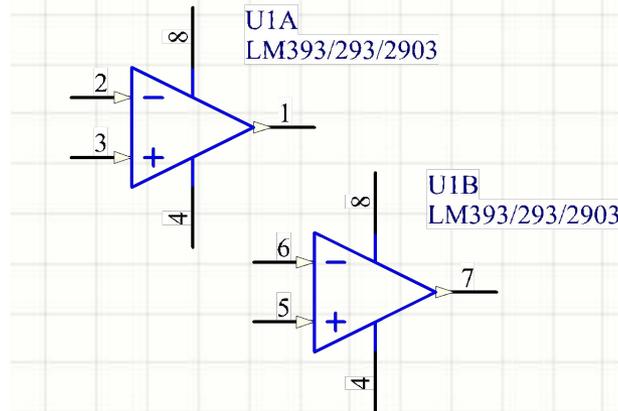
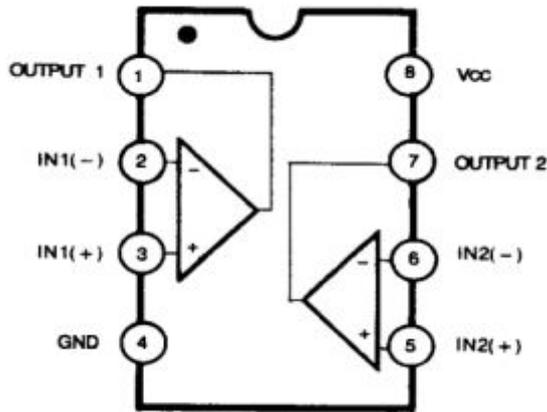
Электронный компонент	Варианты поз. обозначения
	Варианты указания номинала
Резистор	R1, R2... 1k, 1K, 1kOhm, 1кОм, 1кΩ, 1kΩ
Конденсатор, (в т.ч. электролитический)	C1, C2... 1мкФ, 1uF, 1μF 100nF, 0.1uF, 100нФ, 0.1мкФ (100мкФ 16В, 100uF 16V)
Разъем	XP1, J2
Аналоговая микросхема (в т.ч. с несколькими элементами внутри корпуса)	DA1, U1 (DA1:1, DA1A) (U1.1, U1A)
Цифровая микросхема (в т.ч. с несколькими элементами внутри корпуса)	DD1, U1 (DD1:1, DD1A) (U1.1, U1A)
Транзистор	VT1, Q2

Номиналы

- Резисторы:
 - 1R2
 - 120R
 - 1k2
 - 12k
 - 120k
 - 1M2
- Конденсаторы:
 - 4.7pF
 - 47pF
 - 4.7nF
 - 47uF
 - 4700uF
 - 47000uF
- Дроссели:
 - 4.7nH
 - 47nH
 - 4.7uH
 - 47nH
 - 47mH
 - 470mH
- В предлагаемой нотации номиналов:
 - Используются только буквы латинского алфавита (нет кириллических и греческих символов). Этот подход будет работать в ЛЮБОЙ специфической программе
 - Нет пробелов между числами и размерностью
 - Указание на размерность сопротивления опущено, для единиц/долей Ома используется разделитель «R»
- Миллифарады не используются чтобы подчеркнуть – это очень большие значения емкости!
- Существует традиция обозначения емкостей строго в пФ и нФ, но такая запись менее удобна (занимает больше места на схеме)

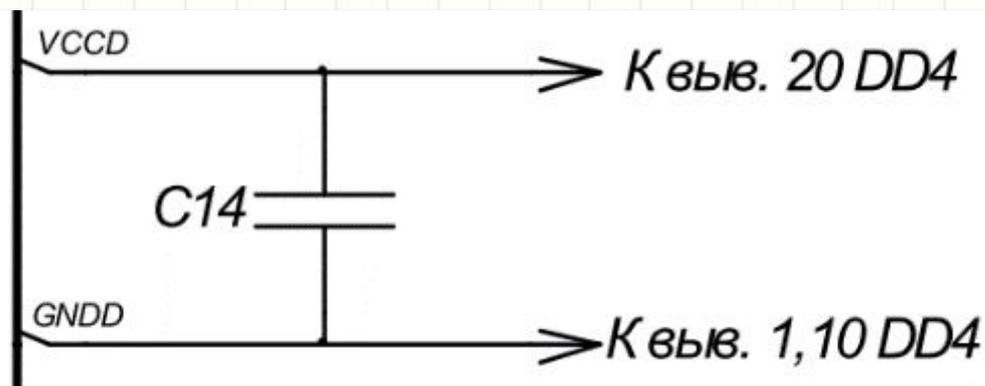
УГО

- Типичные ошибки:
 - Сложные электронные компоненты (аналоговые и цифровые микросхемы) «рисуются с натуры»
 - Микросхемы, содержащие по 2 и более одинаковых элементов в корпусе, рисуются одним блоком
 - Изображаются выводы питания ЛЭ



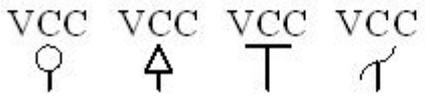
Выводы питания микросхем

- Выводы питания ОУ можно как показывать в самом УГО, так и не показывать
- Выводы питания ЛЭ показывать на схемах НЕ ПРИНЯТО
- Если выводы питания какой-то ИМС не показаны в ее УГО, информация об их существовании **обязательно** отражается на схеме следующим образом:



Соединительные линии

- Подключения узлов к цепям питания в современной электронике прорисовывать соединительными линиями не принято
- Вместо линий изображаются **порты питания**:

Цепь	Графическое обозначение	Имя цепи
«Земля»		GND, <u>Gnd</u> , VSS, GNDD, GNDA
Цепи питания		VCC, <u>Vcc</u> , VDD, <u>Vdd</u> , 5V, +5

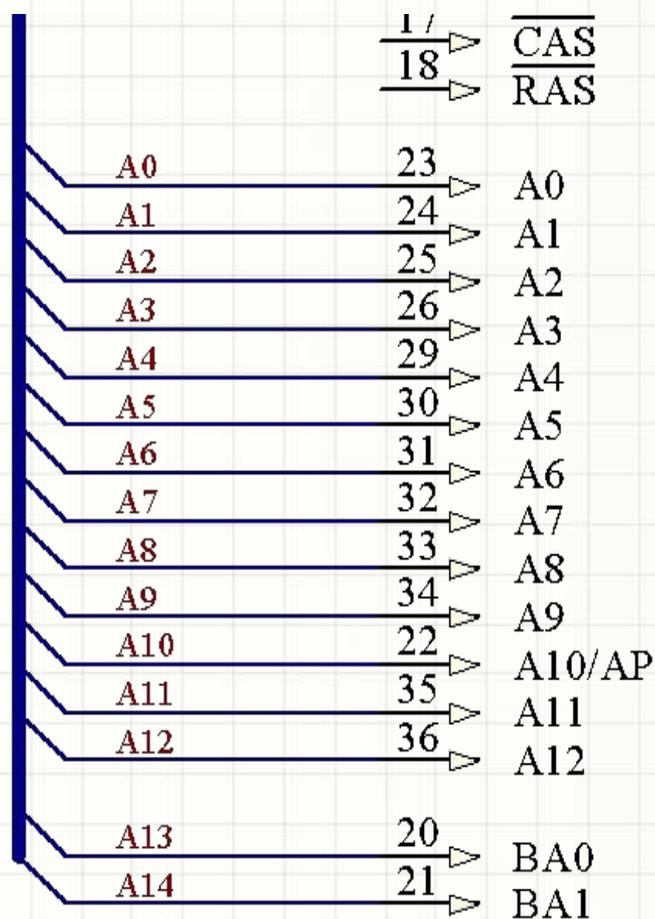
- Разную графику портов питания используйте только для разных цепей питания (например, +5 В и +12 В, если обе цепи есть в схеме)

Соединительные линии

- На всех схемах соединительные линии, означающие цепи, должны быть только горизонтальными и вертикальными*
- Расстояние между ними должно составлять несколько мм (по ГОСТ – 5), чтобы они не сливались
- Лучше рисовать их по сетке прибл. 2.5 или 5 мм
- Из правила (*) существует ***исключение (см. схему мультивибратора на транзисторах, RS-триггера на ЛЭ...)***

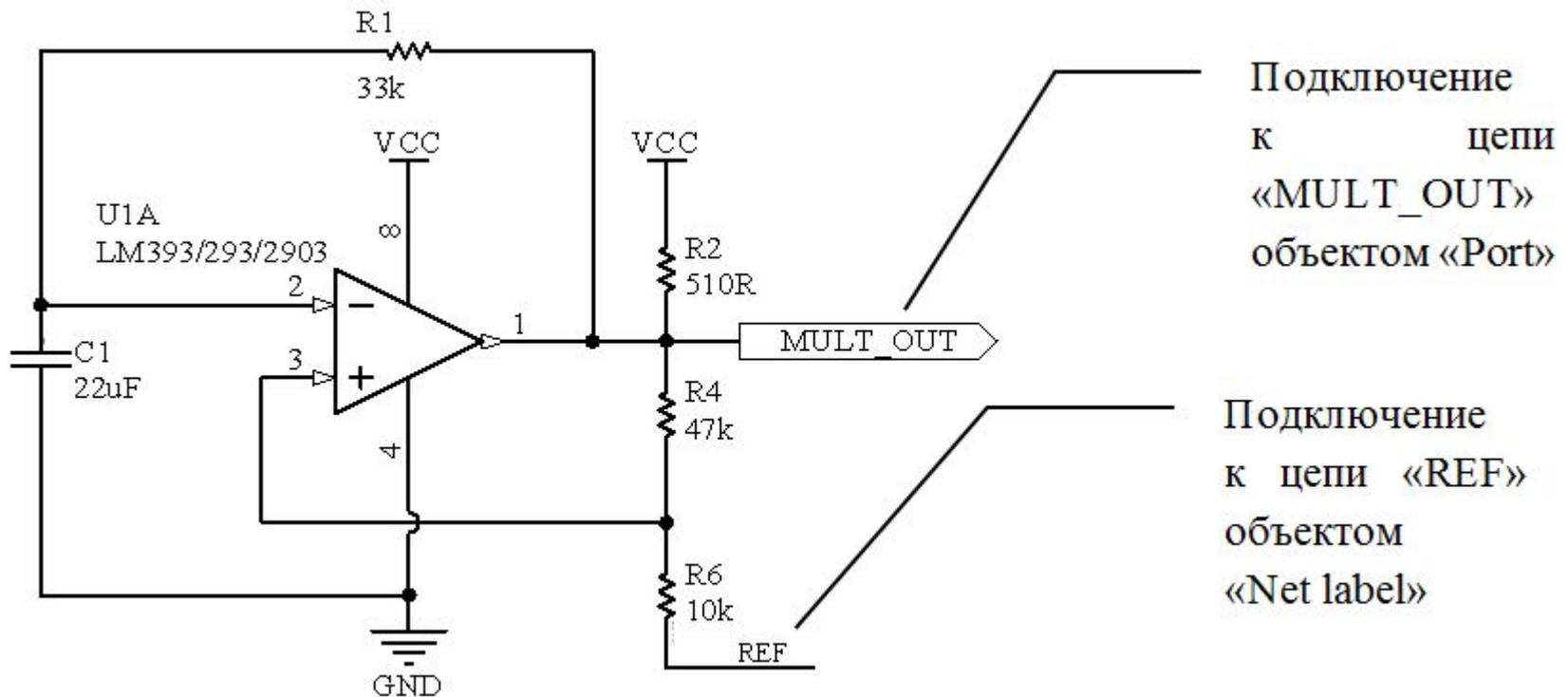
Соединительные линии

- Если соединительных линий **много**, их можно объединить в шину – более широкую линию, обозначающую «связку» цепей
- Чтобы можно было идентифицировать цепи, их:
 - Нумеруют (неудобно)
 - Присваивают им **имена** (так читаемость улучшается)
- Направление косой черты подключения к шине логически напоминает изгиб провода, связанного в пучок («намекает», куда идет соединение)



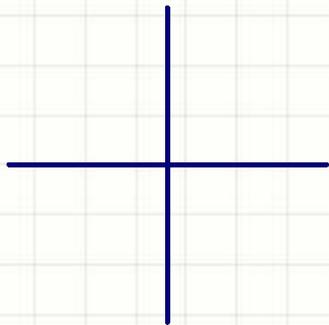
Соединительные линии

- Наличие имен цепей и без шины (широкой линии) **само по себе** дает представление о том, какие узлы включены в цепь
- Следовательно, шина – чисто оформительский элемент, можно обойтись и без нее используя имена цепей в виде строк :



Соединительные линии

- Наличие соединения на «Т-образных» и «Х-образных» пересечениях проводников всегда показывается кругом
- Отсутствие соединения:
 - «мостиком» (обычно так делают, когда ваша программа рисует «мостики» сама)
 - не показывается вообще (удобнее при составлении схем вручную или с помощью графического редактора общего назначения):



Подключение есть

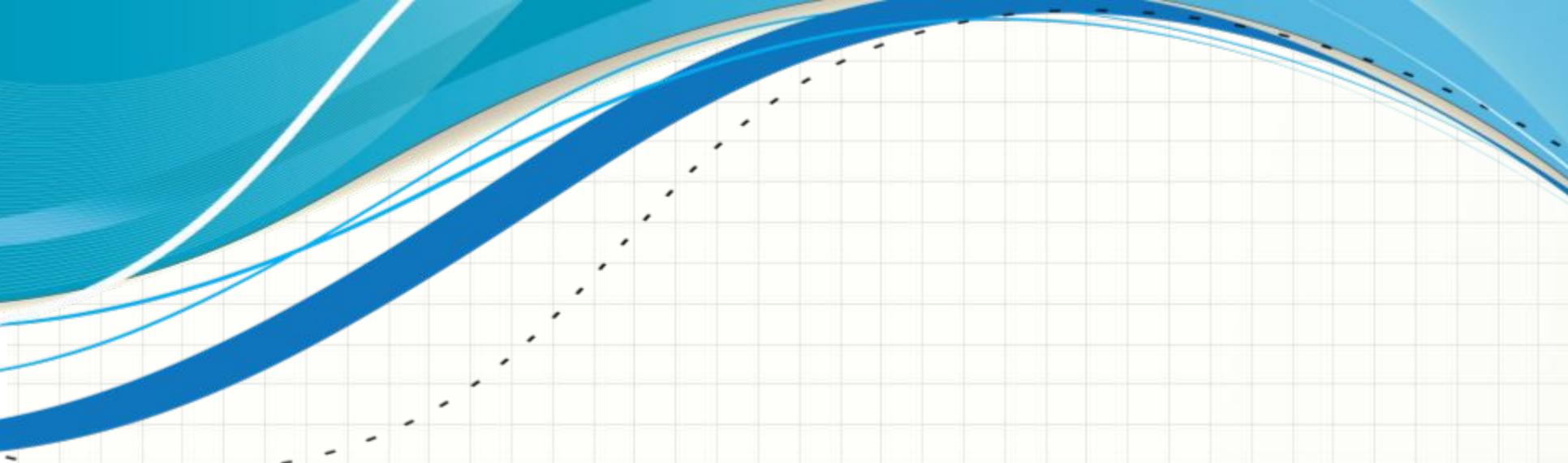


Подключения нет

Чертежные «штампы»

- Лучше, если электрические принципиальные схемы размещены на листе со стандартным (РФ или ISO) штампом
- Даже если сема составляется вручную, напечатать незаполненный штамп из чертежной системы вовсе несложно
- Придумайте осмысленные имена для всей схемы и ее отдельных листов. Укажите следующее:
 - Название проекта (прибора)
 - Название листа
 - Номер листа и их общее количество
 - Имя автора
 - Дата, условный номер
- Децимальные номера (АБВГ.12345.67.89) пишутся условные (любые)

					<i>ЭПУ.04.01.00</i>		
					<i>Схема электрическая принципиальная</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Лит</i>	<i>Масса</i>	<i>Масштаб</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Герасимов В.А.</i>					
<i>Провер.</i>		<i>Ухов А.А.</i>					
<i>Т.контр.</i>							
<i>Согласов.</i>							
<i>Н.контр.</i>							
<i>Утвердил</i>							
					<i>Лист 1 Листов 1</i>		
					<i>СПбГЭТУ Группа 6214</i>		
					<i>Плата блока управления</i>		



**ПАССИВНЫЕ
КОМПОНЕНТЫ И ИХ
ПРИМЕНЕНИЕ**

Содержание

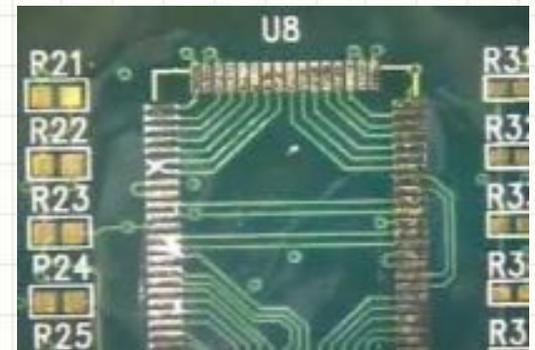
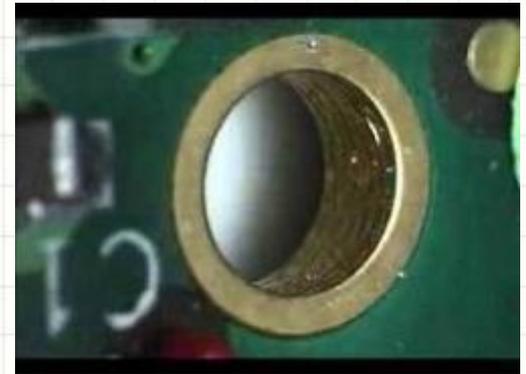
- Способы монтажа электронных компонентов
- Выбор номинала и мощности резисторов
- Типы конденсаторов и области их применения
- Типы катушек индуктивности и области их применения
- Разъемы, трансформаторы

Общее о компонентах в курсовой работе

- Наша цель – смоделировать процесс создания реального устройства
- **НЕЛЬЗЯ** применять компоненты «просто какой-то конденсатор» или «просто какой-то резистор»!
- Вы **ДОЛЖНЫ** выбрать **КОНКРЕТНЫЕ**, выпускаемые электронной промышленностью компоненты и указать их в перечне элементов схемы!

О способах монтажа

- Существует два способа монтажа компонентов:
 - Планарный монтаж (*SMT = Surface Mount Technology, SMD = Surface-mounted device*)
 - Монтаж выводных компонентов (*Trough-hole technology, pin-in-hole*)

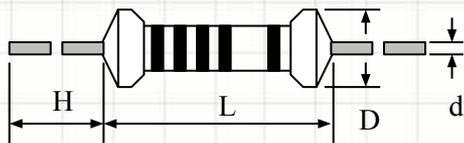


О способах монтажа

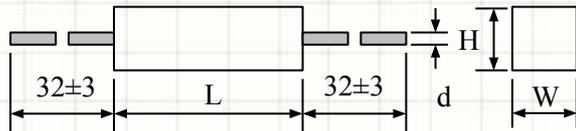
- Соответственно, существуют **выводные** и **планарные** компоненты, в т.ч. пассивные (резисторы, конденсаторы и т.п.)
- Выводные компоненты **крупнее**, и:
 - У резисторов, транзисторов, силовых микросхем выше мощность
 - У конденсаторов больше емкость и/или выше рабочее напряжение
 - У дросселей (индуктивностей) больше индуктивность и/или рабочий ток
- Планарные компоненты **компактнее и технологичнее**

Пассивные компоненты: резисторы

- Выводные резисторы: напрямую указывается номинал и мощность
- Маркировка – в Омах или цветовыми кольцами



Компонент Т	L, мм	D, мм	H, мм	d, мм	Мощность, Вт
MFR-12	3.4	1.9	28	0.45	1/6
MFR-25	6.3	2.4	28	0.55	1/4
MFR-50	9.0	3.3	26	0.55	1/2
MFR-100	11.5	4.5	35	0.8	1
MFR-200	15.5	5.0	33	0.8	2

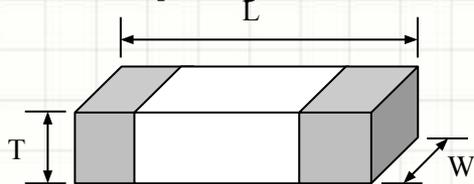


Компонент Т	L, мм	W, мм	H, мм	d, мм	P, Вт
SQP200	8	7.0	7.0	0.65	2
SQP300	22	8.0	8.0	0.8	3
SQP500	22	9.5	9.0	0.8	5
SQP700	35	9.5	9.0	0.8	7
SQP10A	48	9.5	9.0	0.8	10
SQP15A	48	12.5	12.5	0.8	15
SQP20A	60	12.5	12.5	0.8	30
SQP25A	60	14.0	13.0	0.8	25
SQP30A	77	18.0	17.0	0.8	30
SP40A	90	19.0	18.0	0.8	40

Пассивные компоненты: резисторы

- Планарные резисторы – указывается

корпус



Название корпуса	Длина L		Ширина W	
	мм	дюймов	мм	дюймов
«01005»	0.4	0.016	0.2	0.0079
«0201»	0.6	0.024	0.3	0.012
«0402»	1.0	0.039	0.5	0.02
«0603»	1.6	0.063	0.8	0.031
«0805»	2.0	0.079	1.25	0.049
«1206»	3.2	0.13	1.6	0.063
«1210»	3.2	0.13	2.5	0.098
«1806»	4.5	0.18	1.6	0.063
«1812»	4.5	0.18	3.2	0.13
«2010»	5.0	0.2	2.5	0.098
«2512»	6.4	0.25	3.2	0.13
«2920»	7.4	0.29	5.1	0.2

- Мощность связана с типом корпуса. Резистор 0630 способен рассеивать 0.0625 Вт мощности (реже – 0.1), 0805 – 0.125 Вт, 1206 – 0.25 Вт и т.д.
- Маркировка – отсутствует или в формате XX μ , номинал = XX*10^Y
- Например, маркировка 361 соответствует номиналу в 360 Ом

Резисторы

- Существует ряд наборов номиналов резисторов:

Ряд	Точность
E3	50% (устаревший ряд)
E6	20% (устаревший ряд)
E12	10%
E24	5% (самый популярный ряд на сегодня!)
E48	2%
E96	1%
E192	0.5, 0.25, 0.1% и точнее

- Цифра в названии ряда – число значений номиналов в декаде (единицы, десятки, сотни, тысячи, десятки тысяч, сотни тысяч, миллионы – Ом, пико/нанофарад, нано/микрогенри)
- **Нельзя указывать резистор произвольного номинала! Нужно выбрать ближайший из существующих и убедиться, что с ним схема будет работать правильно.**

Резисторы

- Фрагмент таблицы номиналов по рядам:

- ИСТОЧНИК:

http://www.logwell.com/tech/components/resistor_values.html

E6	E12	E24	E48	E96	E192	E6	E12	E24	E48	E96	E192	E6	E12	E24	E48	E96	E192
				100	100						215					464	464
			100	100	101				215		218				464	470	470
				102	102				221		221				475	475	475
		100		105	104				222		223				475	481	481
				105	105			220			226			470	487	487	487
				107	106				226		229				487	493	493
	100			107	107				232		232				499	499	499
				110	109			220			234			470	505	505	505
				110	110				237		237				511	511	511
				113	111				237		240				511	517	517
				113	113				243		243				523	523	523
		110		115	114				243		246				523	530	530
				115	115			240			249			510	536	536	536
				118	117				249		252				536	542	542
				120	118				255		255				549	549	549
100				121	120			220			258			470	556	556	556
				121	121				261		261				562	562	562
				124	123				261		264				562	569	569
				124	124				267		267				576	576	576
				126	126				267		271				576	583	583
		120		127	127				274		274				590	590	590
				127	129				274		277				590	597	597
				130	130				280		280				604	604	604
				132	132			270			284				604	612	612
	120			133	133				287		287			560	619	619	619
				133	135				287		291				619	626	626
				137	137				294		294				634	634	634
				140	138				294		298				634	642	642
		130		140	140				301		301			620	649	649	649
				142	142				301		305				649	657	657
				143	143				309		309				665	665	665
				145	145				309		312				665	673	673

Резисторы

- Для создания делителя напряжения на резисторах, цепи ООС усилителя на ОУ, обвязки линейного регулятора напряжения и т.п. обычно приходится подбирать **пару** резисторов с заданным **соотношением** номиналов
- И пару резисторов, и стандартный номинал, наиболее близкий к требуемому, удобнее всего подобрать при помощи **программы-калькулятора**

Резисторы

- Пример программы-калькулятора: <http://jansson.us/resistors.html>
- Второй удобный вариант – ElectroDroid для смартфонов:



Resistor Series

There are four more or less commonly used resistor series, with 12, 24, 48, and 96 values per decade, respectively. Generally, 5% tolerance resistors are available in E24 and 1% resistors in E96, but this is not a hard and fast rule. For example some low-value 1% resistors are available in E12 only.

- E12 (10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82)
- E24 (10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, ..., 82, 91)
- E48 (10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.1, 12.7, 13.3, ..., 90.9, 95.3)
- E96 (10.0, 10.2, 10.5, 10.7, 11.0, 11.3, 11.5, ..., 95.3, 97.6) All values

Resistor Value

Find the best single resistor, series, and parallel resistor combination from the series selected above to satisfy the desired value.

Desired value: Ω KΩ MΩ

Single: 9.76 %
Series: + = 0.41 %
Parallel: // = -0.22 %

Resistor Ratio

Find the best combination of resistors to satisfy the given ratio, using values from the series selected above.

Desired ratio: Reciprocal

Single: ÷ = 4.22 %
Series: ÷ (+) = 0.12 %
Parallel: ÷ (//) = 0.01 %

Резисторы

- Существует большое многообразие подстроечных (обычно – «под отвертку») и переменных (более удобных) резисторов:



- Существуют планарные и выводные, линейные и нелинейные (логарифмические) переменные резисторы, одиночные и спаренные, поворотные и линейные, различной мощности, на различное число механических циклов и проч.

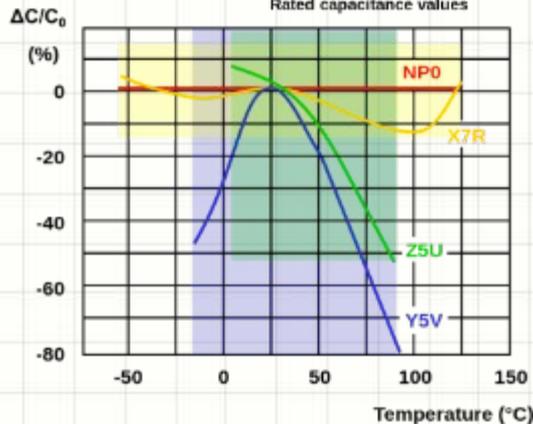
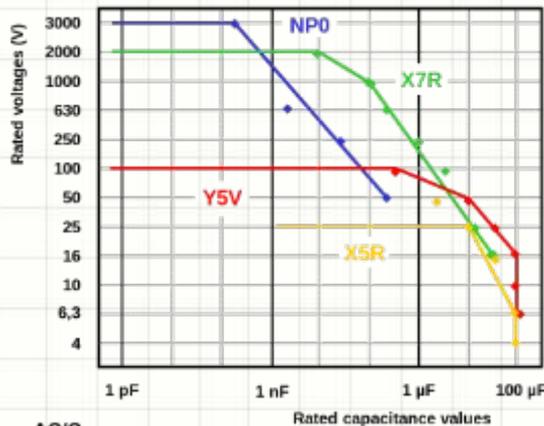
Конденсаторы

- Аналогично: выпускаются планарными и выводными
- Корпуса связаны с рабочим напряжением, емкостью и технологией производства
- Наиболее востребованы конденсаторы следующих типов:
 - **Электролитические** (полярные) – когда требуется большая емкость и рабочее напряжение. Используются в линейных и импульсных источниках питания
 - **Танталовые** – то же, что электролитические, но: меньше сочетание емкости и напряжения, при меньших паразитных параметрах (ESR – эквивалентное последовательное сопротивление, ESL – эквивалентная последовательная индуктивность). Используются в импульсных источниках питания, как блокировочные конденсаторы
 - **Керамические**: компактные, неполярные, невысокое значение ESR, минимальное значение ESL. Используются наиболее широко в различных случаях (фильтры, времязадающие цепи, блокировочные конденсаторы, импульсная техника)
 - **Пленочные**: неполярные, небольшие емкости, высокие рабочие напряжения. Используются в силовой электронике, фильтрах и т.п. Обладают высокой точностью номинала и очень низким ESR
 - **Прочие**

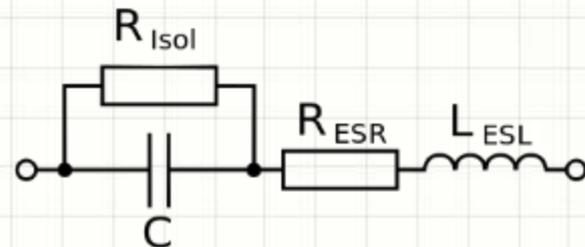
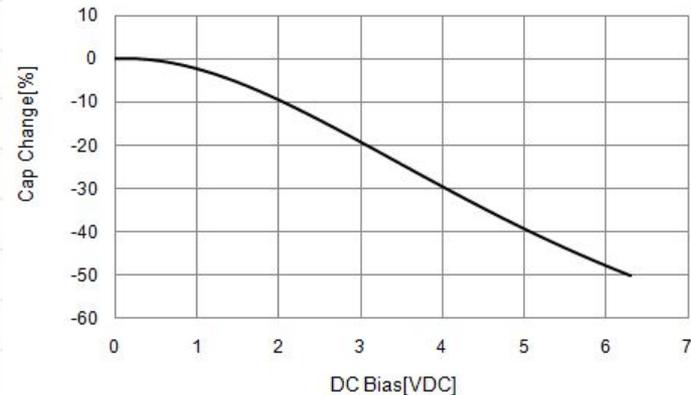


Конденсаторы

- Номиналы конденсаторов подбираются по тем же наборам E_{xx}, не точнее E24
- Точность номинала и температурная характеристика емкости зависят от технологии
- Например, самые точные и термостабильные керамические конденсаторы изготавливаются из керамики NP0/C0G (малые емкости), а самая «емкая» керамика Y5V обладает наихудшей термостабильностью: -20...+80% (см. рисунки слева)
- Лучше брать рабочее напряжение с запасом в 2 и более раз – так будет ниже ESR (см. схему), не будут заметен «DC bias effect» (снижение емкости при высоком напряжении на конденсаторе – рис. справа-сверху)

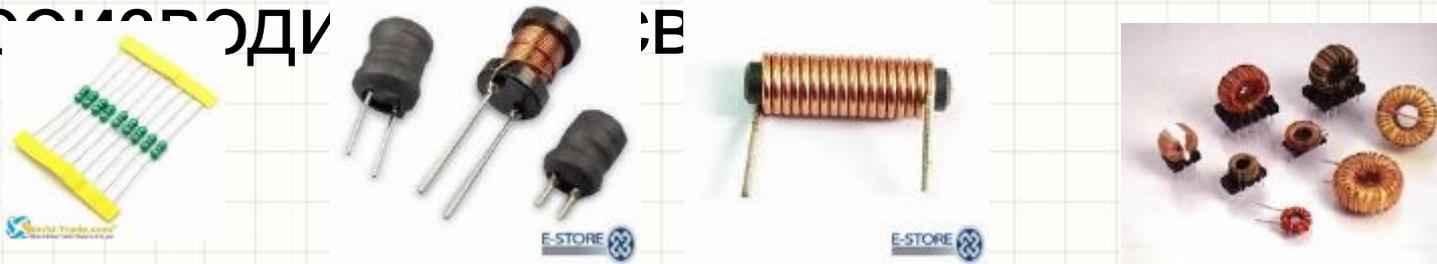


Examples of direct current voltage characteristics



Индуктивности (дроссели)

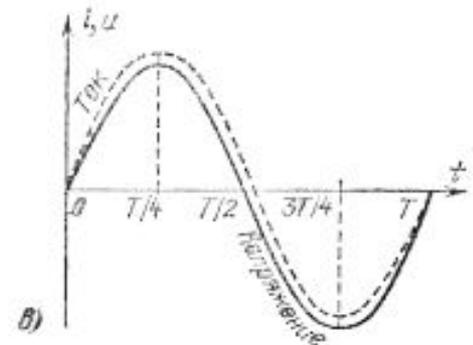
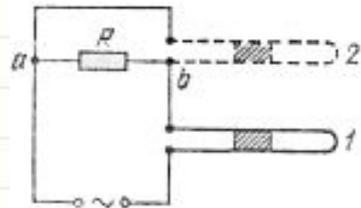
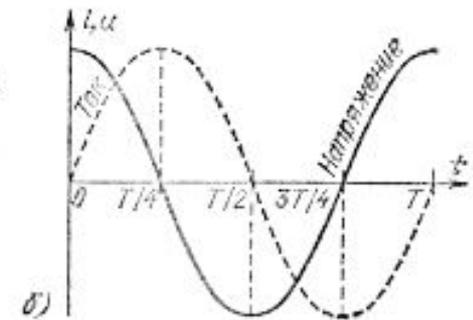
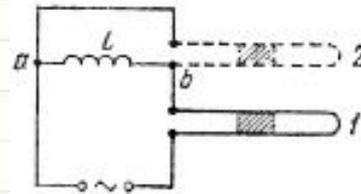
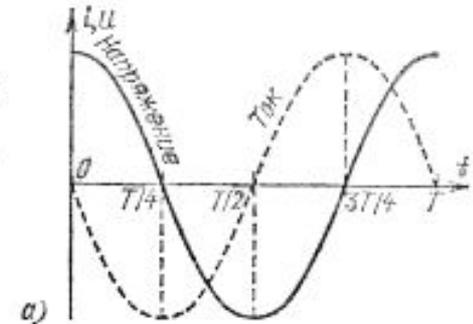
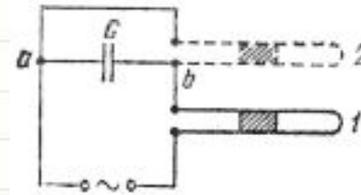
- Чаще всего выпускаются в нестандартных корпусах (у каждого производителя)



- Отличаются частотными характеристиками, рабочими токами, омическим сопротивлением провода
- Используются в современной электронике только в импульсной технике, источниках питания, фильтрах
- В схемах обработки сигналов используются редко, даже если речь идет о радиочастотной электронике

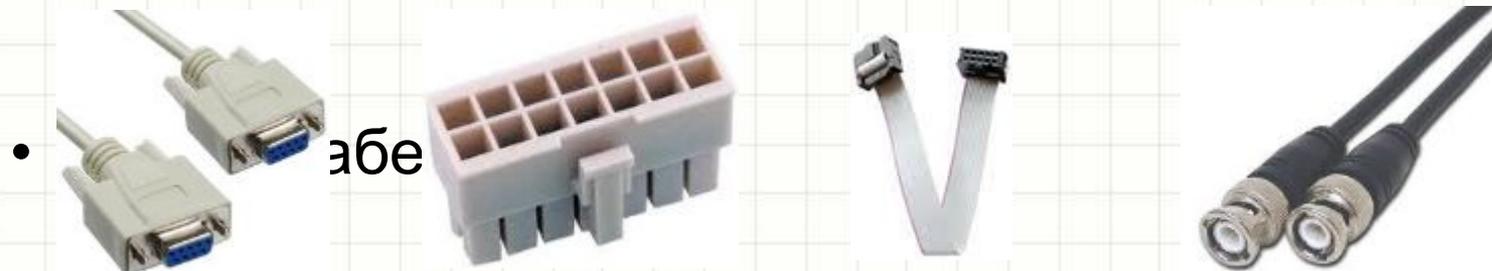
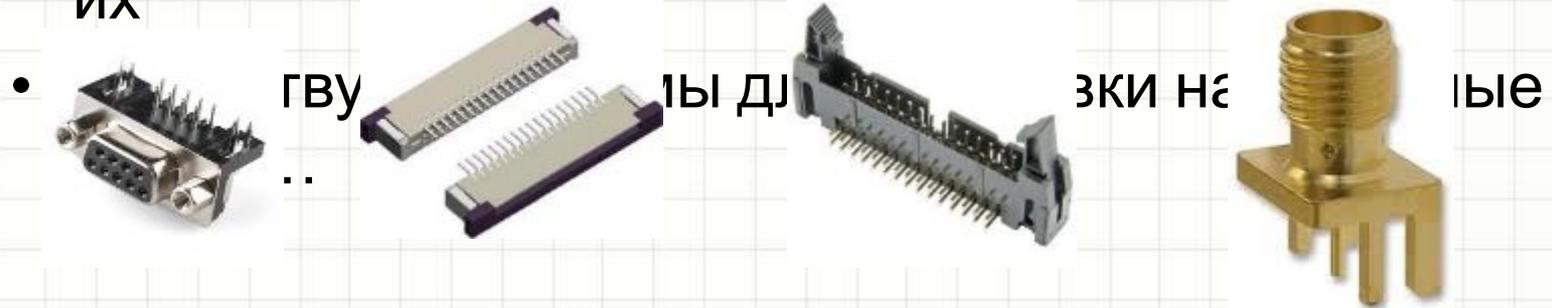
Простейшие расчеты схем на пассивных компонентах

- Вспомним самое простое:
 - Последовательное и параллельное включение R, L, C
 - Делитель напряжения на резисторах и его применение
 - Выражения для импеданса емкости ($1/\omega C$) и индуктивности (ωL)
 - Соотношение фаз тока и напряжения в емкости и индуктивности (разница – четверть периода, запомните «слово» **ULICU**, и никогда не забудете соотношение!)
 - Простейшие ФВЧ (high-pass filter) и ФНЧ (low-pass filter)



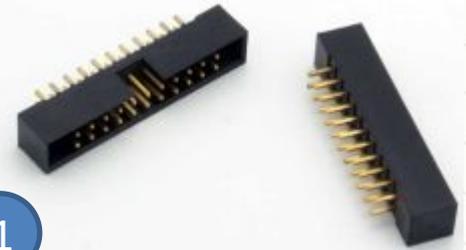
Разъемы

- Разъемы выделяются в отдельный класс компонентов
- Разъемы не преобразуют сигналы, а лишь передают их

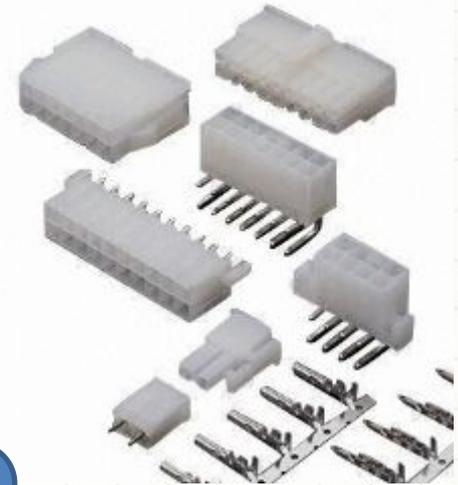


Популярные разъемы

- Для монтажа внутри прибора:
 1. IDC
 2. Mini-fit (более мощные)
 3. Faston (еще более мощные)
 4. Клеммники (не требуют ответных частей)



1



2



4

3



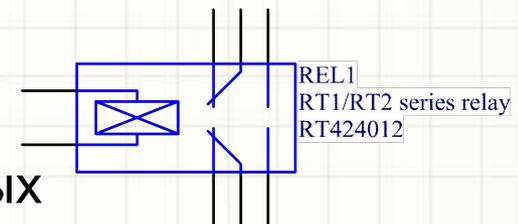
Популярные разъемы

- Для на корпус прибора:
 1. D-Sub
 2. “Banana”
 3. Промышленные спец. серий
 4. Специальные (USB, аудио-видео, питания и т.д.)



Реле

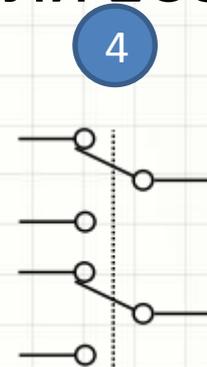
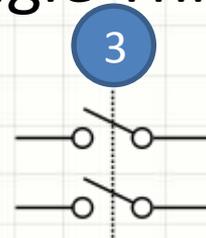
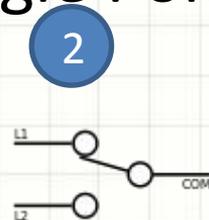
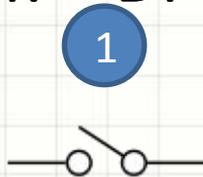
- Представляют собой отдельный класс компонентов
- Состоят из **контактной группы** и **обмотки возбуждения**
- Отличаются (основные параметры):
 - Конструкцией: моностабильные (обычные) и бистабильные (применяются редко), электромагнитные (обычные) и герконовые
 - Рабочим напряжением обмотки (5В, 12В, 24В, 220В)
 - Мощностью обмотки
 - Рабочим током обмотки (очевидно, чем выше напряжение, тем меньше ток для одной серии реле)
 - Конфигурацией контактной группы
 - Рабочим напряжением контактной группы
 - Коммутируемым током
- Реле управляются при помощи транзисторных ключей
- Применяются в случаях, когда нужно коммутировать большие токи, но редко (не чаще нескольких раз в минуту)



Реле

- Существующие конфигурации КОНТАКТОВ:

1. SPST (Single Pole Single Throw) или 1NO
2. SPDT (Single Pole Double Throw) или 1CO
3. DPST (Double Pole Single Throw) или 2NO
4. DPDT (Double Pole Double Throw) или 2CO



- Другие конфигурации встречаются редко

Реле

- Выбрать конкретный тип реле проще всего по каталогу, например, «радиоловительскому» Чип и Дип: <http://www.chipdip.ru/catalog-show/electromagnetic-relays/>
- Рекомендовать конкретные типы смысла нет



tyco
Electronics

General Purpose Relays

SCHRACK

Power PCB Relay RT2 (Continued)

Product key

RT 4

Type

Version

- 4** 8 A, pinning 5 mm, flux proof
- E** 8 A, pinning 5 mm, wash tight

Contact configuration

- 2** 2 CO contacts
- 4 2 NO contacts

Contact material

- 3** AgSnO₂
- 4** AgNi 90/10
- 5 AgNi 90/10 gold plated

Coil

Coil code: please refer to coil versions table

Version

- Blank** Standard version
- WG** Product in accordance with IEC 60335-1 (domestic appliances)

Preferred types in bold print

- Обычно выпускается документация на серию реле: похожие корпуса, в которых установлены обмотки на разные напряжения и разные контактные группы

Кнопки, переключатели

- Как и реле, существуют с различными конфигурациями контактной группы (SPST и т.д.)
- В 99% курсовых работ для управления прибором предлагается использовать кнопки без фиксации – контакт разрывается при отпускании толкателя кнопки, а для настройки прибора - микропереключатели
- Выбор определяется рабочими токами и напряжениями, конфигурацией контактной группы, механическими параметрами, дизайном
- Практически во всех заданиях достаточно использовать так наз. «тактовые кнопки» (1) и переключатели типа «DIP-switch» (2)

Тактовые кнопки ²¹³

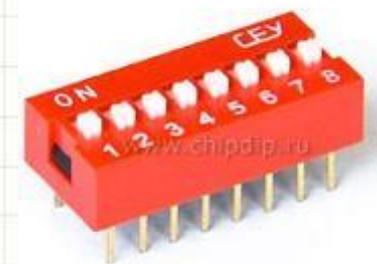
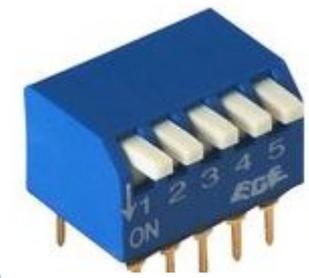
Производители Тип Способ монтажа Рабочее напряжение,В Рабочий ток,А Наличие

Boone 1 Confly 1 e-switch 1 No touchpad 120 Switches 1 Трш 12 Wood Metal 20 Well Being 11 Китай 10 Россия 3 Таблицы 11

Сортировка: **Рекомендуем** Дешевле Дроже По наличию

Поиск по группе:

 0750-NM-130G (TS-A2PV-130), Кнопка тактовая угловая h=3 мм	 0795-NM-136G (TS-A4PV) (SWT3), Кнопка тактовая угловая h=3.55мм	 1-1825027-7 (FSMVA6JH), Кнопка тактовая h=7.9 мм SPST угловая	 1-1825510-0 (FSM5JH), Кнопка тактовая h=7 мм SPST	 1-1825910-4 (FSM5JH), Кнопка тактовая h=9.5 мм SPST
13 руб. ✓ Со склада	12 руб. ✓ Со склада	15 руб. ✓ Со склада	14 руб. ✓ Со склада	10 руб. ✓ Со склада
				



1

2

Трансформаторы

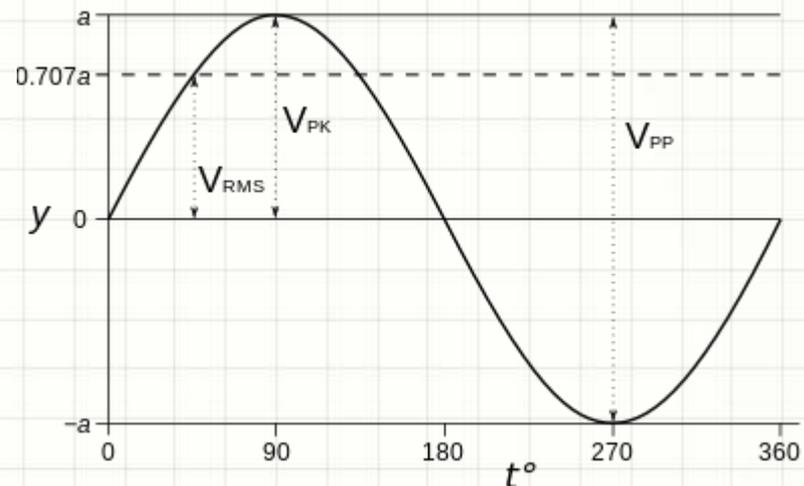
- Являются неотъемлемой частью любого блока питания – преобразователя напряжения промышленно сети 220В в более низкое напряжение
- Отличаются друг от друга:
 - Конструктивным исполнением
 - Мощностью в [Вт]
 - Количеством и схемой включения вторичных обмоток
 - Напряжениями вторичных обмоток

Что такое 220 вольт?

- Это должен помнить каждый: **220В – действующее значение напряжения в сети!**
- Действующее значение – **энергетическая характеристика сигнала** (тока или напряжения)
- Амплитуда синусоидального напряжения, соответствующая действующему значению, превышает его в **корень из двух раз**
- Соответственно, амплитуда напряжения промышленной сети составляет прибр. 310 вольт

$$I_D = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

$$U_D = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

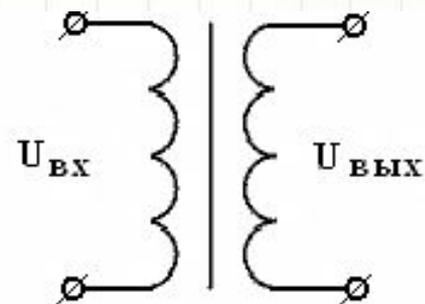


Трансформаторы

- Популярные трансформаторы:

1. ТП-112
2. ТП-115
3. ТТП-15
4. ...

- В большинстве случаев нужен трансформатор с **одной** вторичной обмоткой



1



2

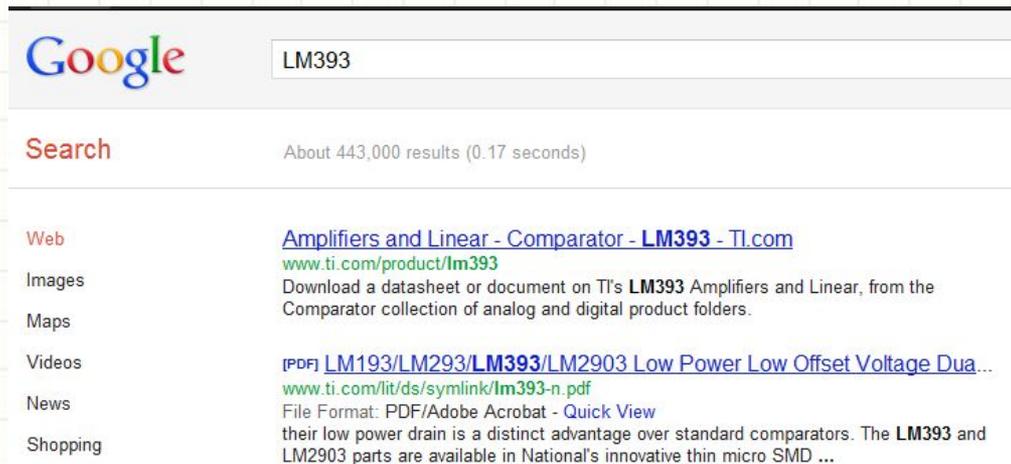


3



Где найти и как читать документацию на электронные компоненты?

- Где найти?
 - Google it! Самый верный способ – сайт производителя!
 - Каталоги документации, например, <http://alldatasheet.com/>
 - Довольно удобный российский интернет-магазин «Чип и Дип» <http://www.chipdip.ru/> имеет большой каталог документации
- Техническое описание компонента называется **datasheet**.
- Также существуют примеры применения (**application note**) и описания ошибок, допущенных при производстве компонента (**errata sheet**)



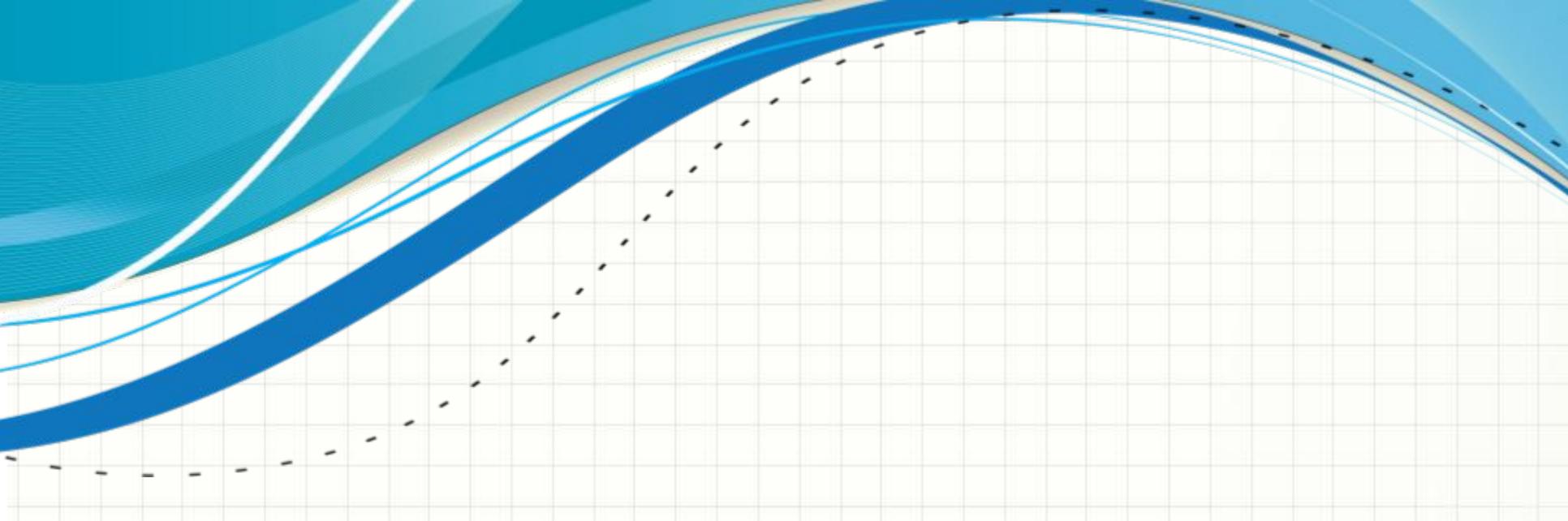
Google search results for LM393. The search bar contains "LM393" and the results show "About 443,000 results (0.17 seconds)". The top result is "Amplifiers and Linear - Comparator - LM393 - TI.com" with a link to www.ti.com/product/lm393. Below it is a PDF link: "[PDF] LM193/LM293/LM393/LM2903 Low Power Low Offset Voltage Dua... www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393-n.pdf". The file format is listed as "PDF/Adobe Acrobat - Quick View". A snippet of the text below the PDF link reads: "their low power drain is a distinct advantage over standard comparators. The LM393 and LM2903 parts are available in National's innovative thin micro SMD ...".

WWW.ALLDATASHEET.COM



Где найти и как читать документацию на электронные компоненты?

- Чертеж корпуса и посадочного места под него обычно называется ***outline dimensions, package drawing, footprint details***
- Список параметров – electric characteristics. ***Static characteristics*** описывает рабочие токи и напряжения, ***dynamic (switching)*** – скоростные свойства компонента
- ***Absolute maximum ratings*** – максимальные токи, напряжения и т.п. при которых компонент не выходит из строя. Это не означает, что его можно и нужно эксплуатировать в этом режиме!



ДИСКРЕТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Содержание

- Что такое дискретные компоненты
- Диоды, диодные мосты, стабилитроны, симисторы
- Индикаторные светодиоды, семисегментные индикаторы
- Фотодиоды и фототранзисторы
- Биполярные и полевые транзисторы

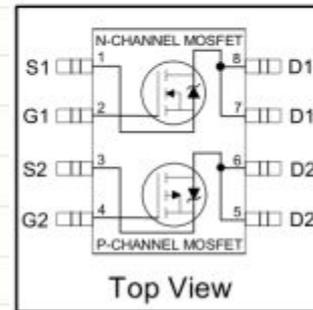
Что такое дискретные КОМПОНЕНТЫ

- Дискретные компоненты – это все диоды, стабилитроны, тиристоры, симисторы, транзисторы и их сборки
- **Сборка** дискретных компонентов – несколько подобных компонентов, конструктивно выпускаемых в одном корпусе:

1. Выводы компонентов могут быть не соединены внутри. Такие компоненты нужны для минимизации размеров прибора
2. Часть выводов может быть замкнута внутри корпуса. Такие компоненты позволяют так же упростить систему соединений в приборе

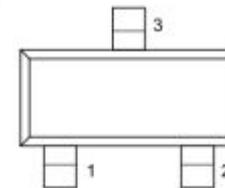
1

IRF7309



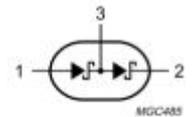
	N-Ch	P-Ch
V_{DSS}	30V	-30V
$R_{DS(on)}$	0.050 Ω	0.10 Ω

2

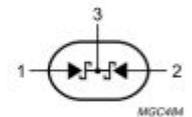


Top view MGC482

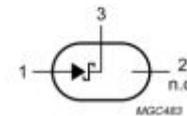
a. Simplified outline SOT23.



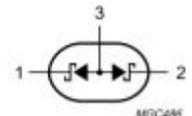
c. BAS40-04



d. BAS40-05.



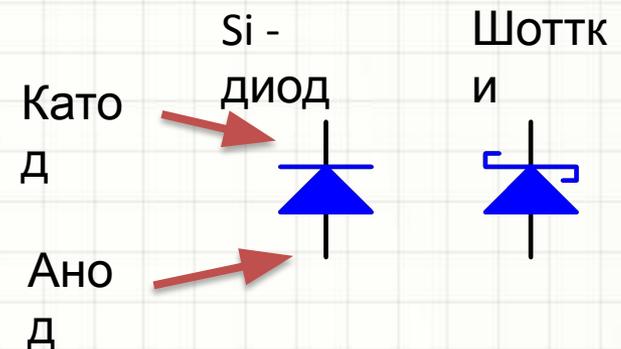
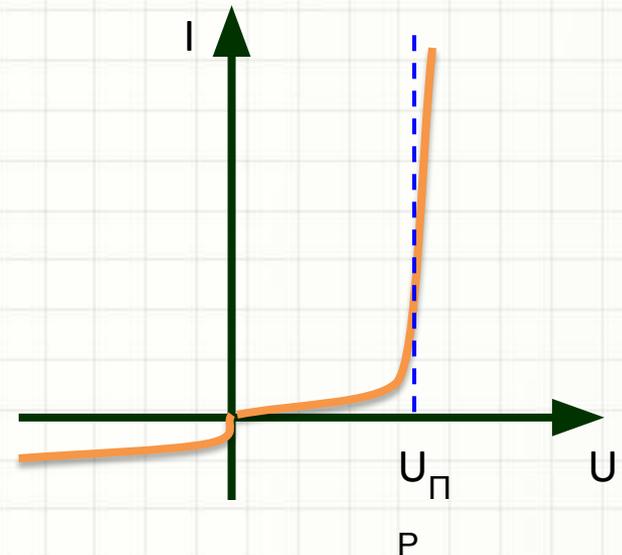
b. BAS40 single diode.



e. BAS40-06.

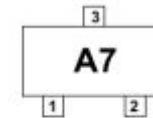
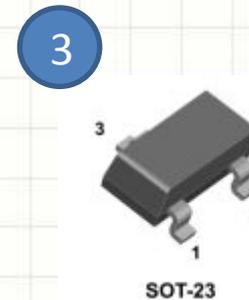
Диоды

- Диод – компонент, пропускающий электрический ток лишь в одном направлении
- Виды диодов:
 - Кремниевые
 - Шоттки
 - (остальные используются редко)
- Основные параметры диодов:
 - Напряжение $U_{пр}$
 - Максимальное обратное напряжение
 - Рабочий ток и емкость
 - (емкость перехода, быстродействие – второстепенны)

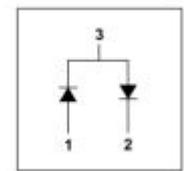


Диоды

- Для Si-диодов $U_{пр}$ составляет 0.6-0.7 В при токе несколько мА и до 1В для мощных диодов при токе в сотни мА и выше
- Для диодов Шоттки $U_{пр}$ ниже, переход смещается в прямом направлении уже при напряжениях в 200-300мВ
- При превышении максимального напряжения обратного смещения диод выходит необратимо из строя
- Популярные Si-диоды:
 1. 1N4148
 2. LL4148
 3. BAV99
 4. 1N4001...1N4007



Connection Diagram



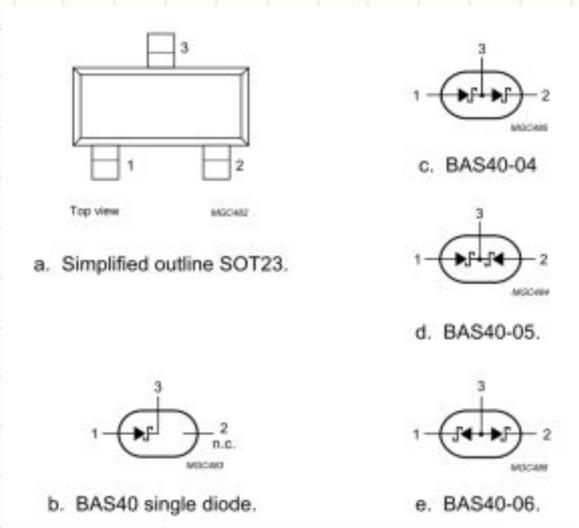
Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V_{RRM}								
Working Peak Reverse Voltage	V_{RWM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
DC Blocking Voltage	V_R								
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	35	70	140	280	420	560	700	V

Диоды

- Популярные диоды Шоттки:

1. BAS-40
2. MBR5260
3. MBR540
4. 8TQ100
5. ...

1



2

**SCHOTTKY BARRIER
RECTIFIER
2.0 AMPERES, 60 VOLTS**



**SMB
CASE 403A**

3

**SCHOTTKY BARRIER
RECTIFIER
5.0 AMPERES, 40 VOLTS**



**SMC
CASE 403
PLASTIC**

4

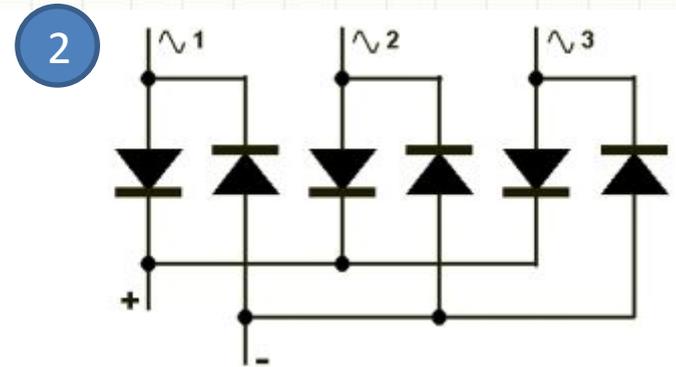
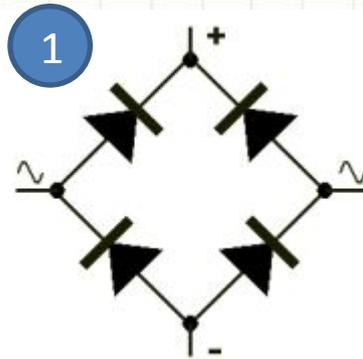
$I_{F(AV)} = 8 \text{ Amp}$
 $V_R = 80 - 100V$



Применение диодов

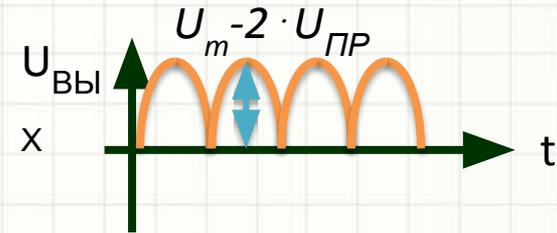
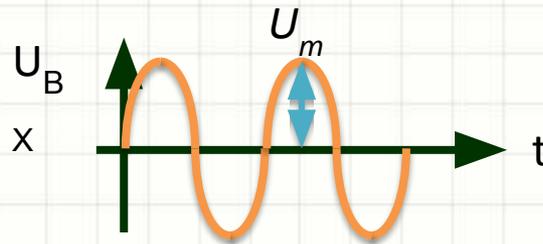
- Диодный мост – выпрямитель переменного тока

1. Однофазный
2. Трехфазный



- Выпускаются готовые диодные мосты:

1. WxxM (1.5 A)
2. KBU8 (8A)
3. ...



- Диодный мост – первый шаг в преобразовании переменного напряжения в постоянное!

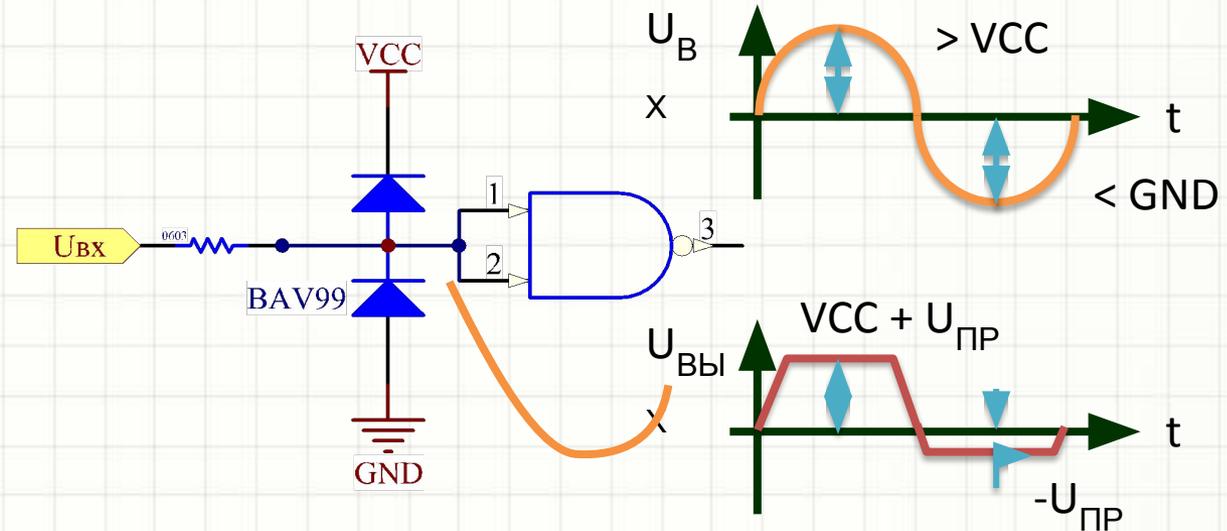


RATINGS	SYMBOL	W005 M	W01 M	W02 M	W04 M	W06 M	W08 M	W10 M	UNITS
Maximum Repetitive Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V

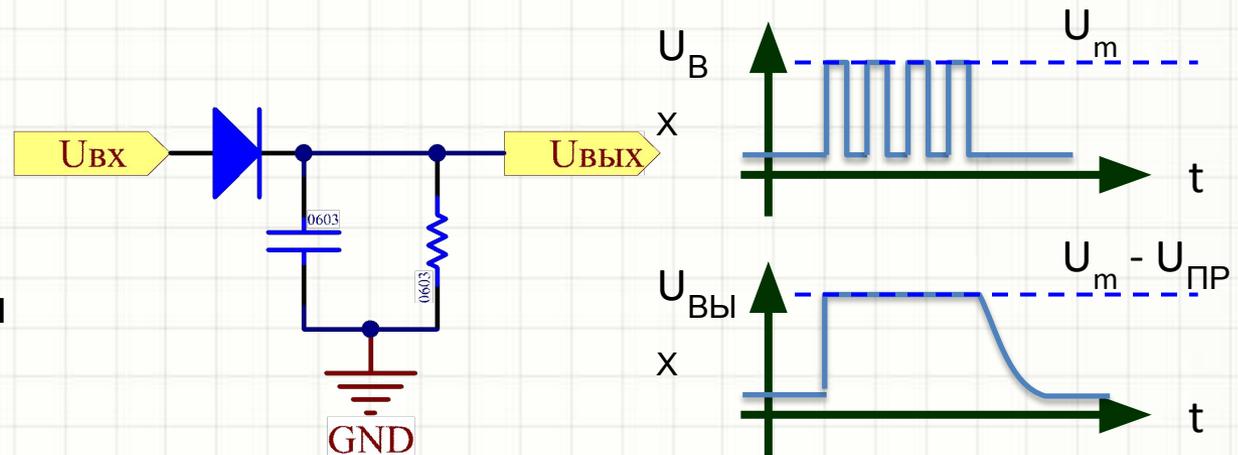
Characteristic	Symbol	KBU 800	KBU 801	KBU 802	KBU 804	KBU 806	KBU 808	KBU 810	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Working Peak Reverse Voltage	V_{WRM}								
DC Blocking Voltage	V_R								
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	35	70	140	280	420	560	700	V

Применение диодов

- Ограничение напряжения и защита от перенапряжения входов микросхем, транзисторных ключей и т.д.



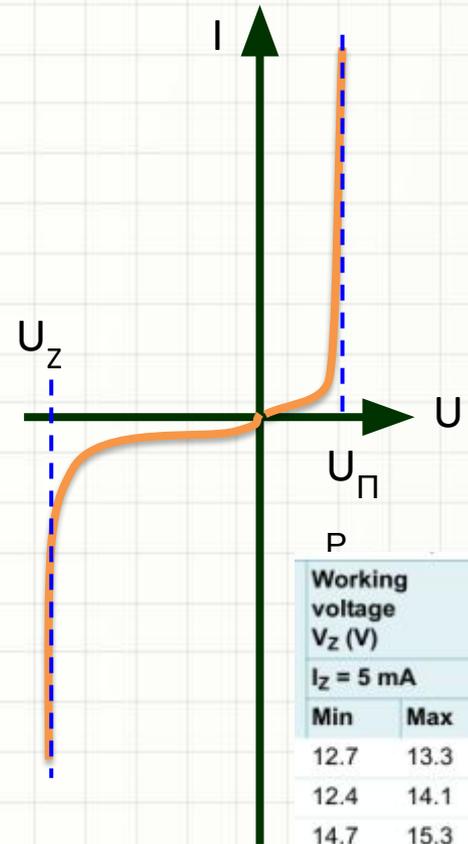
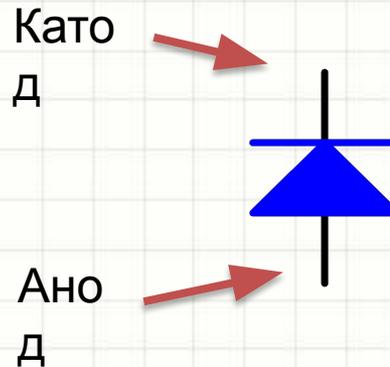
- Простейший детектор (выделяет огибающую пачки импульсов)



- Более сложные схемы с диодами в своем составе

Стабилитроны

- Стабилитрон – это диод, для которого «пробой» при работе на обратном смещении является штатным режимом эксплуатации
- Англ. название – Zener diode
- Рабочее напряжение стабилизации – Zener voltage
- Выпускаются стабилитроны на целый ряд рабочих напряжений, например, BZV55 ($U_z = 2,35 \dots 22,8 \text{ В}$ с шагом $0,3 \dots 2 \text{ В}$)



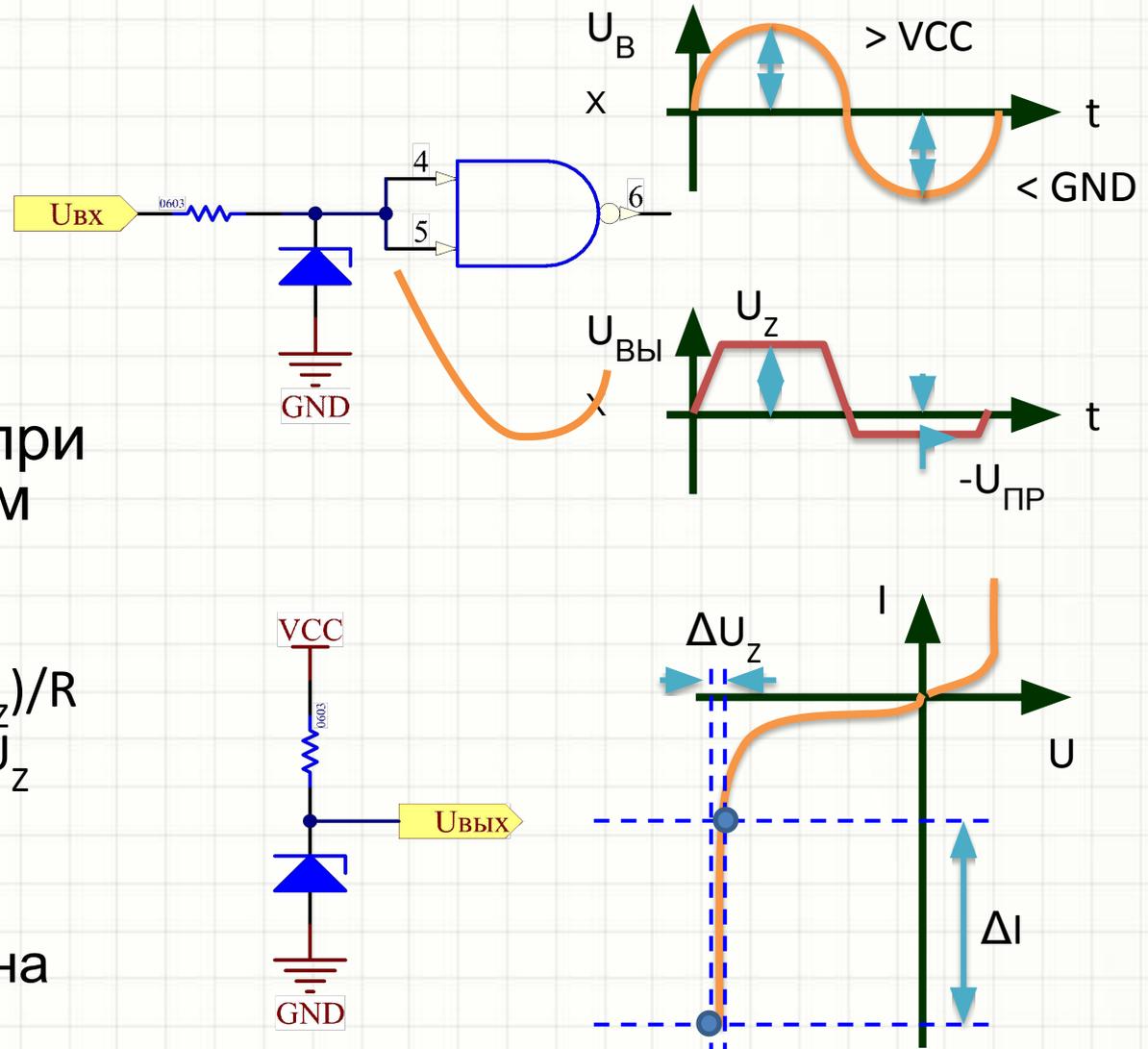
Working voltage V_z (V)	
$I_z = 5 \text{ mA}$	
Min	Max
2.35	2.45
2.2	2.6
2.65	2.75
2.5	2.9
2.94	3.06
2.8	3.2

Working voltage V_z (V)	
$I_z = 5 \text{ mA}$	
Min	Max
12.7	13.3
12.4	14.1
14.7	15.3
13.8	15.6
15.7	16.3
15.3	17.1
17.6	18.4
16.8	19.1
19.6	20.4
...	...
18.8	21.2
21.6	22.4
20.8	23.3
23.5	24.5
22.8	25.6

Применение стабилитронов

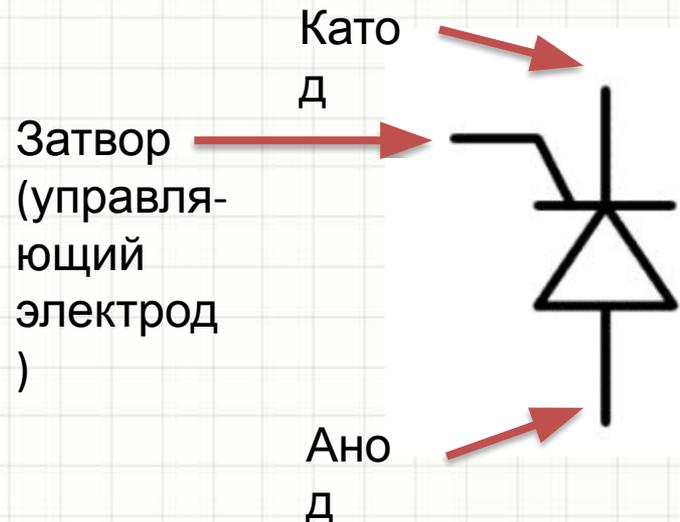
- Защитные цепи
- Источник стабильного напряжения при нестабильном напряжении питания:

- $\Delta I = \Delta(VCC - U_Z) / R$
- При этом ΔU_Z невелико благодаря форме ВАХ стабилитрона



Тиристоры, симисторы

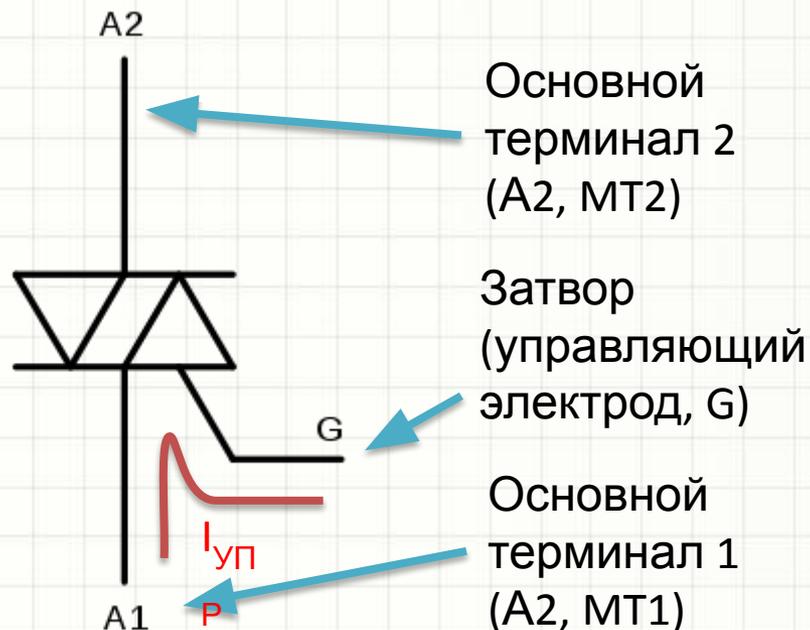
- Группа полупроводниковых приборов с тремя выводами
- **Тиристор (SCR) – полупроводниковый диод:**
 - Никогда не проводит ток от катода к аноду
 - Начинает проводить ток от анода к катоду после открытия импульсом тока управляющего электрода (затвора) при $U_{\text{пр}} > 0$
 - Закрывается только сам, когда $I_{\text{пр}}$ падает практически до нуля
- *(бывают еще динисторы – это тиристоры без управляющего электрода, открываются сами при определенном значении $U_{\text{А-К}}$)*



- **Параметры тиристоры:**
 - Ток управляющего электрода – единицы или десятки мА
 - Пороговое напряжение «затвор-катод» - порядка 1.5 В
 - Падение напряжения в открытом состоянии $U_{\text{пр}} = \sim 1.5$ В
 - Рабочий ток и $\pm U_{\text{А-К}}$ являются параметрами конкретной модели, обычно не менее 1-2 А и не менее 100 В

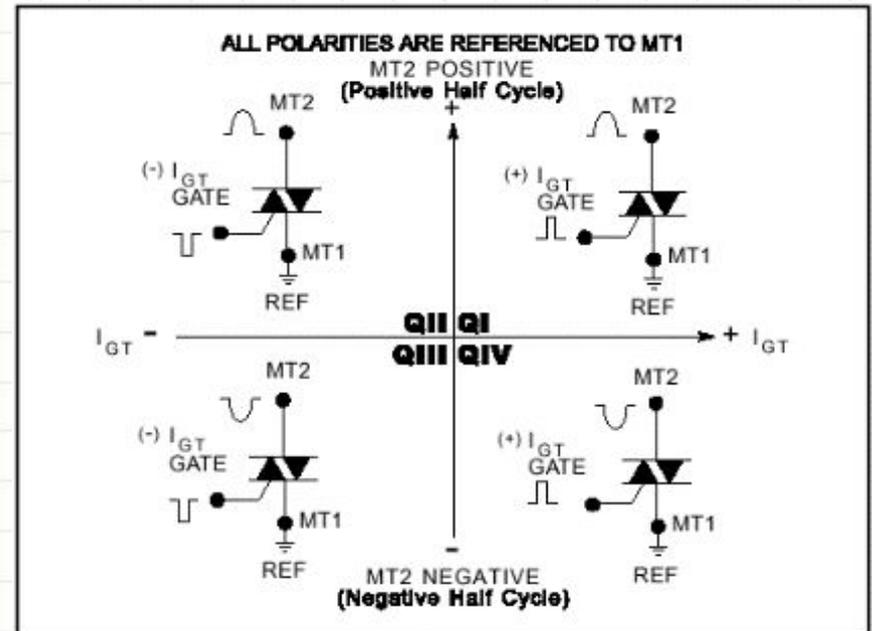
Симисторы

- Тиристоры применяются для управления нагрузкой на переменном токе, и, чаще всего, на напряжении промышленно сети 220 В
- Тиристор включается импульсом управляющего тока, а отключается, когда напряжение в сети (мгновенное значение) достигает нуля
- На практике чаще применяются не тиристоры, а **симисторы (TRIAC) – два встречно-параллельно включенных тиристора, объединенных**



Квадранты симисторов

- При управлении симисторов выделяют 4 условных квадранта, образованные *знаками* двух величин:
 - Направление тока затвора симистора по контуру, включающему MT1
 - Значение напряжения, приложенного между MT1 и MT2
- Всего получается 4 комбинации
- Параметры симисторов отличаются в зависимости от квадранта, в котором он в данный момент работает
- Значительная часть существующих симисторов – трехквадрантные, т.е. в квадранте IV они не работают

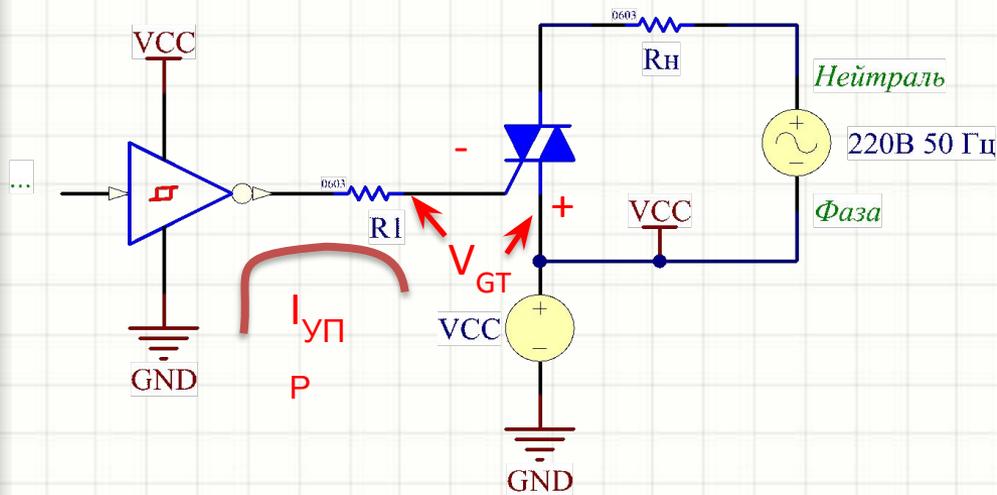


Definition of Quadrants

- Самый простой способ не задумываться о квадрантах – всегда открывать симисторы **вытекающим током** из управляющего электрода, протекающим по MT (квадранты II и III)

Управление симисторами

- Обычно для управления симисторами в схеме требуется неизолированный от промышленной сети источник питания
- Электробезопасность в таких приборах достигается конструктивно либо дополнительными схемами изоляции органов управления
- В качестве драйвера управляющего электрода чаще всего используют транзисторный ключ

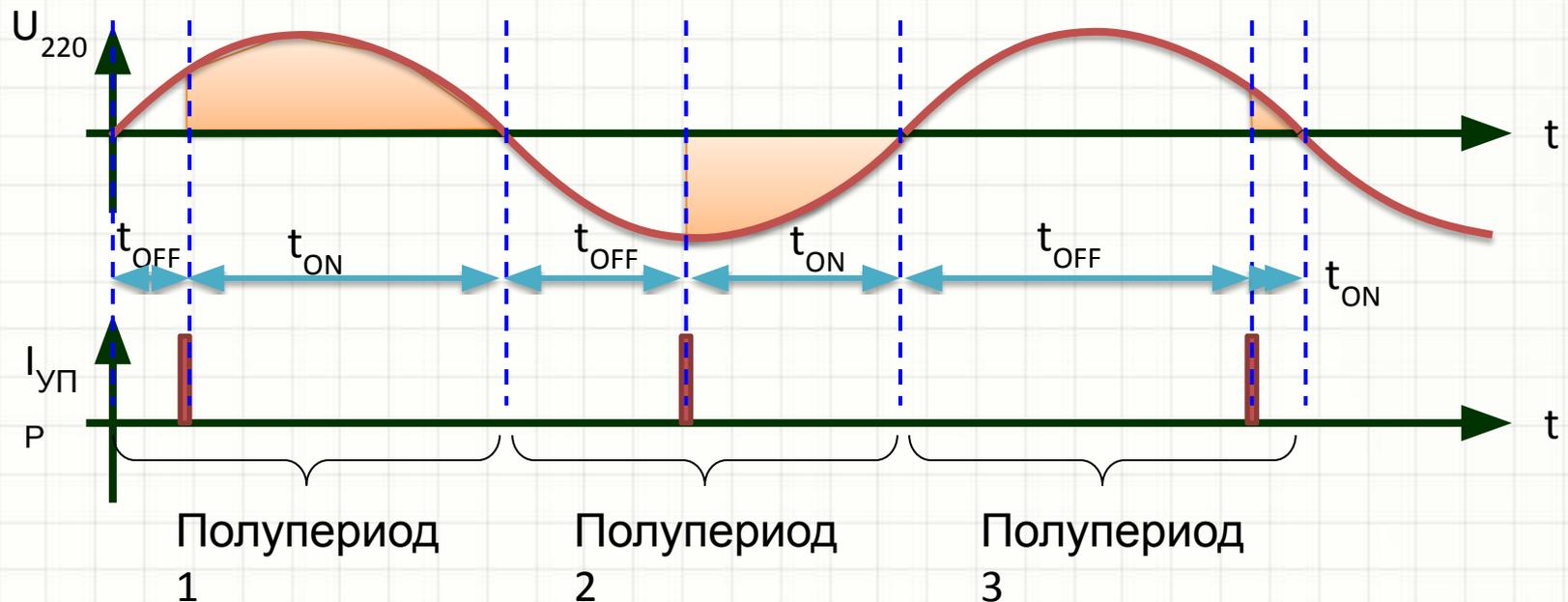


• Расчет резистора затвора:

- $I_{уп}$ берем из документации на симистор, например, 20 мА
- VCC известно, например, 5В
- $R1 = (VCC - V_{GT}) / I_{уп} = (5 - 1,5) / 0,02 = 175 \text{ Ом}$
- $R1 = 160 \text{ Ом}$ (**ближайший меньший из E24**)

Управление симисторами

- Симистор можно включить на несколько периодов питающей сети – обычное управление. В таком случае лучше включать симистор (включать ток управляющего электрода) в момент, когда напряжение сети в нуле
- Симистор можно включать на **часть каждого полупериода** питающей сети – фазовое управление (регулировка методом «triac firing angle»)
- Длительность импульса управляющего тока – минимум несколько мкс (см. документацию на симистор)
- Включает симистор управляющая схема, а выключается он сам (в конце полупериода)!



- В трех полупериодах на рисунке: $P_1 > P_2 > P_3$

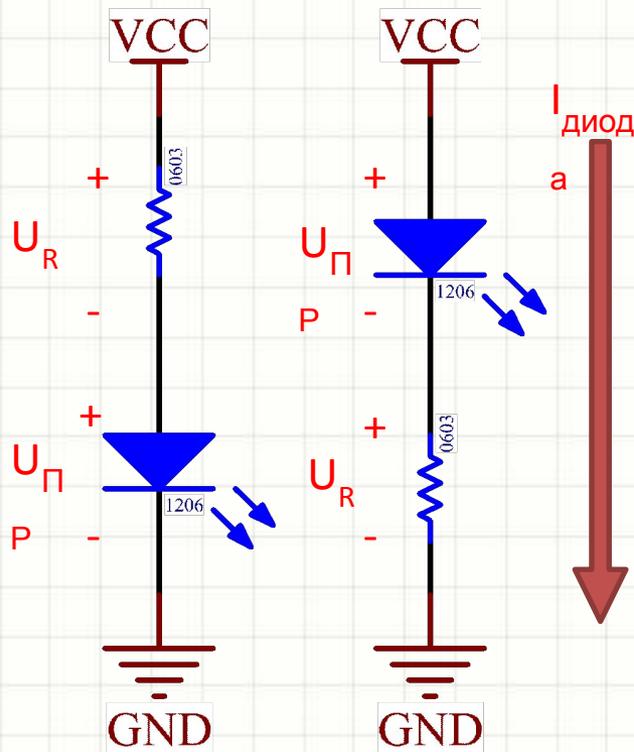
Светодиоды

- Светодиоды изготавливаются не из кремния, а, например, легированного арсенида галлия
- ВАХ светодиода подобна ВАХ Si-диода, но $U_{пр}$ намного больше, чем 0.6-0.7В
- Обратное напряжение обычно не превышает 5В
- Ток светодиода зависит от его мощности и составляет десятки мА для индикаторных светодиодов и сотни мА для осветительных
- Светодиоды питаются от **источника тока**, а не напряжения
- ВАХ светодиода, как и обычного кремниевого p-n перехода, сильно зависит от температуры (ТКН составляет десятки мВ/С)
- Выпускаются планарные (0603, 0805, 1206 и нестандартные) и выводные светодиоды (с прямоугольным или круглым рассеивателем, стандартным диаметром 3 и 5 мм или редкого размера и т.п.)
- Выпускаются инфракрасные, УФ, светодиоды видимого диапазона различных цветов



Индикатор питания

- Светодиод, подключенный к источнику питания прибора с напряжением VCC



- Расчет резистора:

- Падение напряжения на резисторе:

$$U_R = VCC - U_{\text{ПР диода}}$$

(из документации)

- Расчетный номинал резистора:

$$R = U_R / I_{\text{диода}}$$

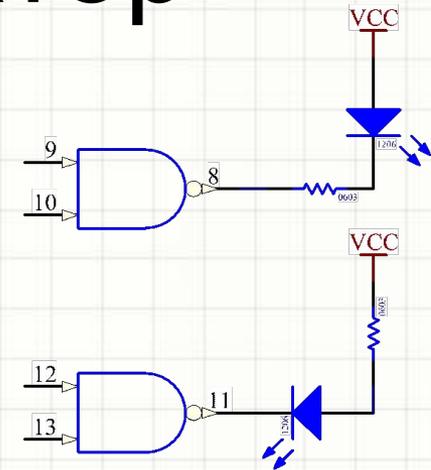
(из документации, но не более максимального)

- Реальный номинал резистора – ближайший больший к расчетному по E24

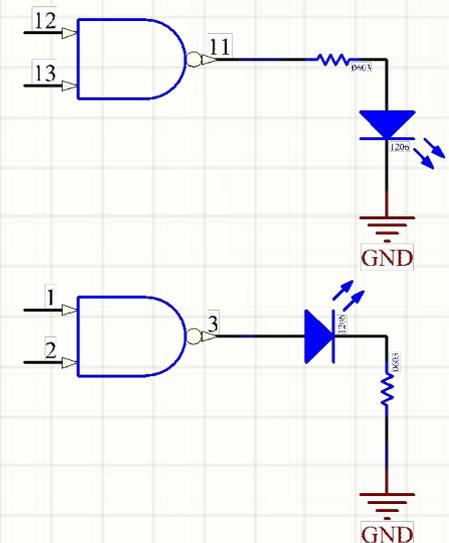
Управляемый индикатор

- Если цифровая микросхема способна выдать желаемый ток светодиода, можно подключить светодиод с резистором непосредственной к ней:
 1. Светодиод включается уровнем лог. «0» (это вариант предпочтительнее)
 2. Светодиод включается уровнем лог. «1»

1

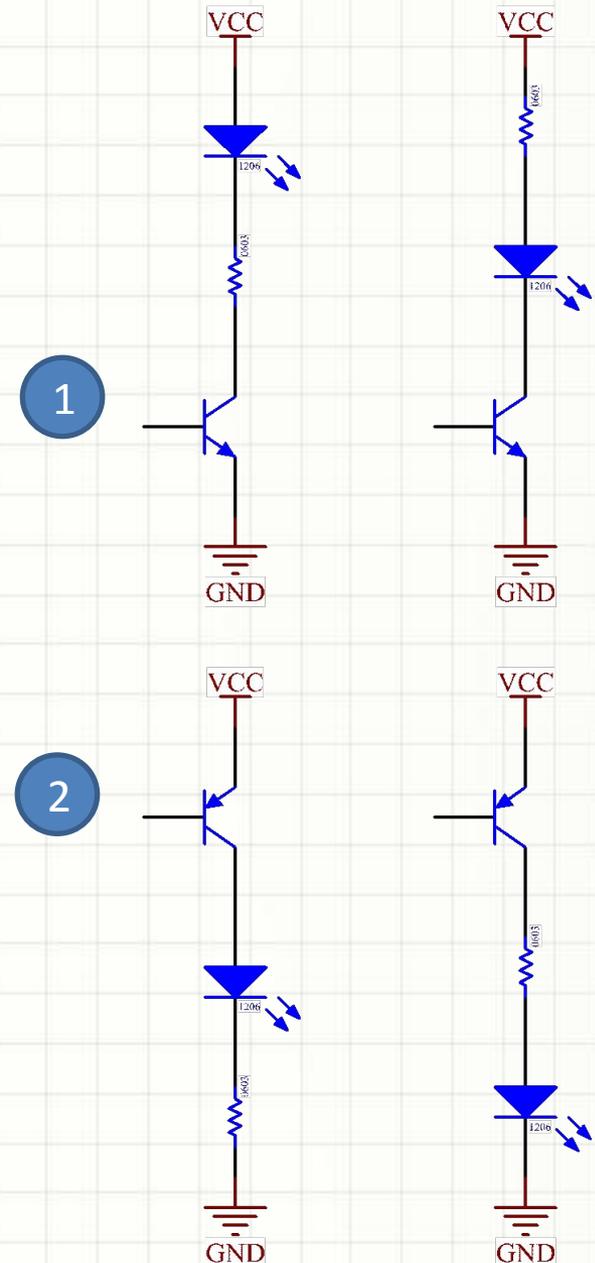


2



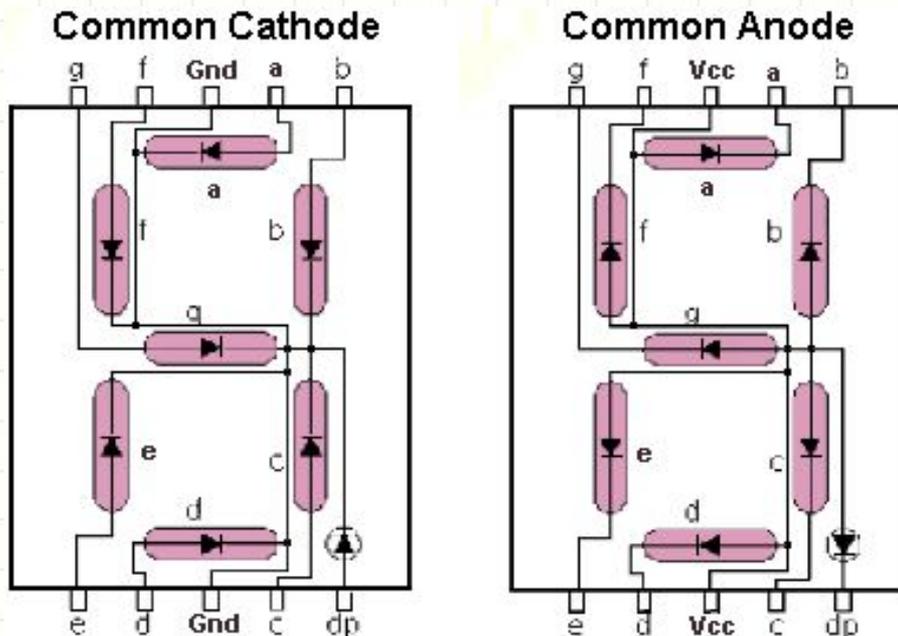
Управляемый индикатор

- Если цифровая микросхема не способна выдать нужный ток, используются транзисторные ключи или сборки готовых транзисторных ключей
 1. Светодиод включается уровнем лог. «1» ИМС, управляющей базой
 2. Светодиод включается уровнем лог. «0» ИМС, управляющей базой
- В случае (1) напряжение питания светодиода может не совпадать с напряжением питания управляющей цифровой микросхемы



7-сегментные индикаторы

- Представляют собой сборки из нескольких светодиодов
- Позволяют отобразить цифру
- Могут содержать отдельный сегмент для десятичного разделителя
- Сегменты нумеруются латинскими буквами a...g, десятичный разделитель – DP от англ. «Decimal point»
- Выпускаются индикаторы с общим катодом (1) и общим анодом (2). Общий анод – более популярен
- Высота знака, оптические и электрические параметры светодиодов отличаются



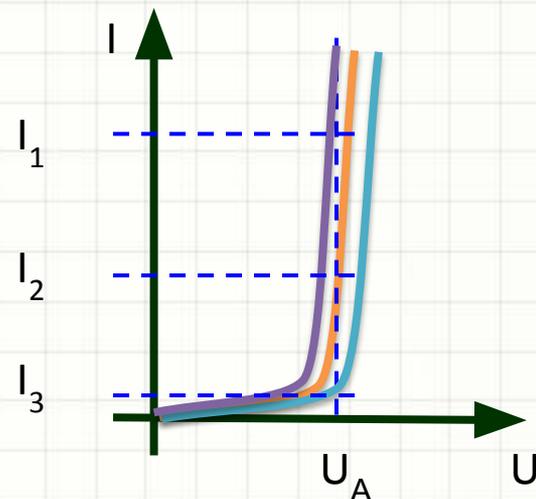
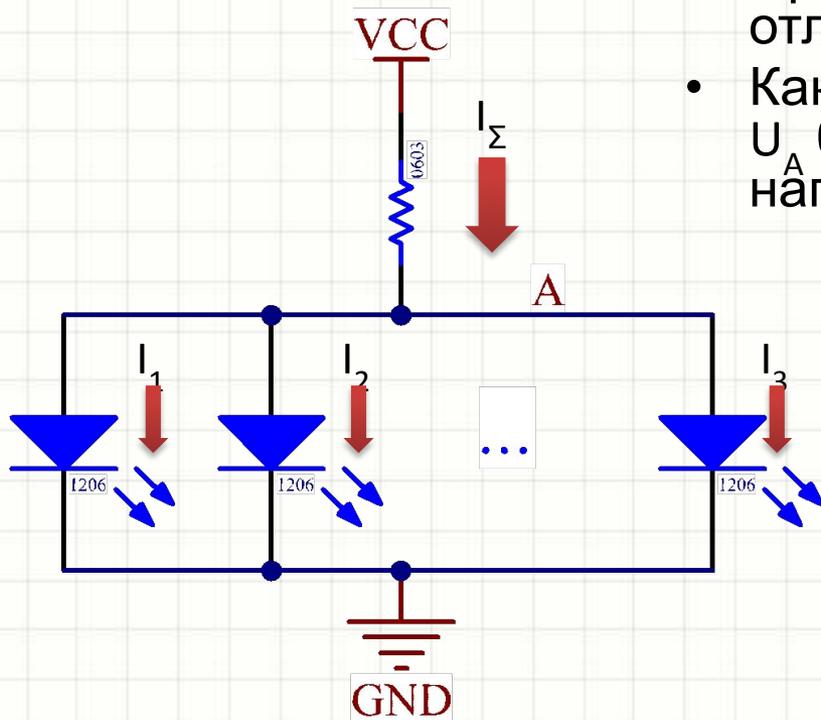
- Для управления такими индикаторами выпускаются специальные цифровые ИМС, которые:
 - Преобразуют двоично-десятичный код в код управления индикатором
 - Обладают достаточно мощными выходами для управления светодиодами

7-сегментные индикаторы

- Каждый светодиод требует ИНДИВИДУАЛЬНОГО токоограничительного резистора (даже если несколько светодиодов включаются синхронно)

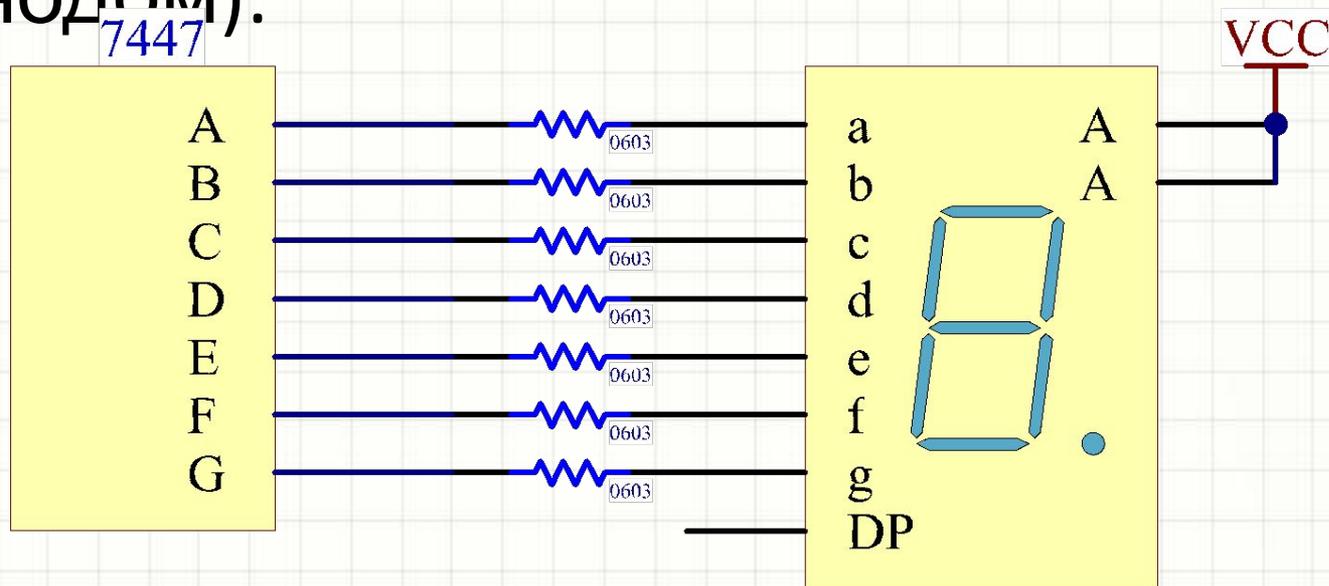
- ЭТО – ОШИБКА:**

- ВАХ светодиодов не идентичны, даже если они из одной партии
- При малой разнице в $U_{\text{пр}}$ ток будет отличаться существенно
- Какие-то светодиоды при общем $U_{\text{пр}} = U_{\text{А}}$ будут перегружены, какие-то нагружены недостаточно!



7-сегментные индикаторы

- Правильное подключение 7-сегментных индикаторов (индикатор с общим анодом):



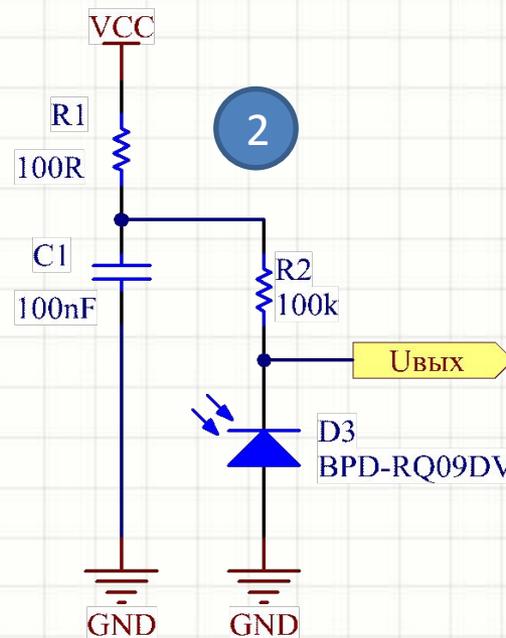
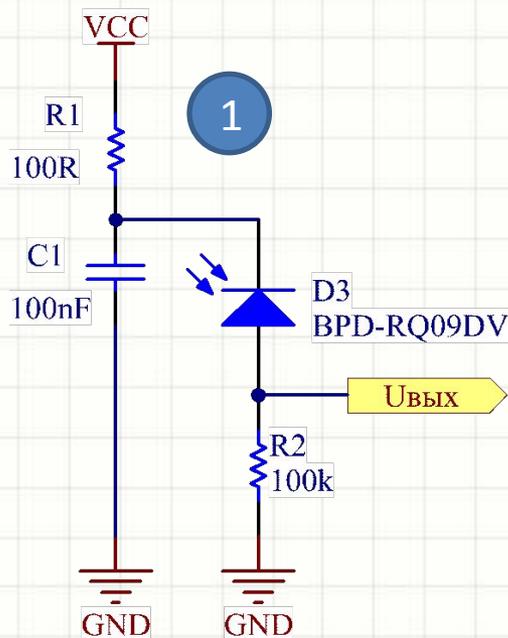
Фотодиоды, фототранзисторы, датчики на их основе

- Требуется применять в ряде заданий
- Фотодиоды – диоды, работающие при нулевом смещении или на отрицательной ветви ВАХ
- Обратный ток фотодиода зависит от светового потока Φ
- Для измерения потока нужно преобразовать ток фотодиода в напряжение (рассмотрим схему на ОУ позже)
- Для определения факта наличия засветки достаточно сравнить ток с некоторой величиной
- Фототранзистор – транзистор, в качестве «базы» которого выступает световой поток



Фотодиоды, фототранзисторы, датчики на их основе

- Фототок мал – десятки или сотни мкА при наличии потока, единицы или десятки нА при отсутствии
- Для того, чтобы превратить такие малые токи в напряжение, нужен резистор в сотни кОм, например:

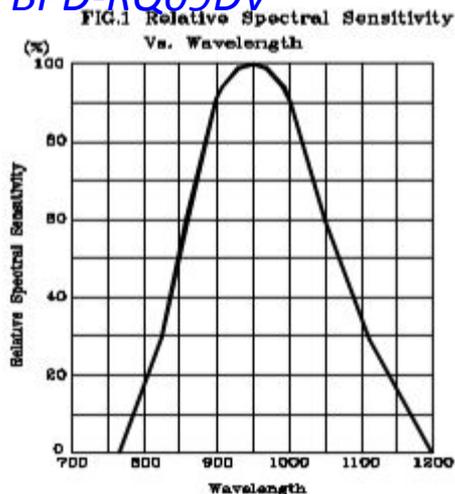


- Схема (1)
 - $U_{\text{ВЫХ}} \cong 0$ при $\Phi = 0$
 - $U_{\text{ВЫХ}} \cong V_{\text{СС}}$ при $\Phi > 0$
- Схема (2)
 - $U_{\text{ВЫХ}} \cong V_{\text{СС}}$ при $\Phi = 0$
 - $U_{\text{ВЫХ}} \cong 0$ при $\Phi > 0$

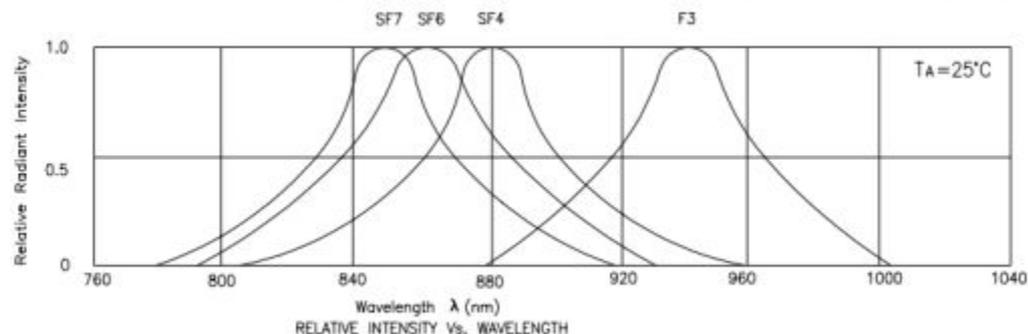
Фотодиоды, фототранзисторы, датчики на их основе

- В качестве датчиков (фотоэлементов) фотодиоды и фототранзисторы обычно работают в паре со светодиодами
- Например, фотоэлемент турникета метро состоит из источника и приемника излучения
- Проходящий человек кратковременно прерывает световой поток от источника в приемник и это детектируется электронной схемой
- При подборе пары светодиод-фотодиод нужно чтобы их спектральные характеристики более-менее совпадали
- Обычно выбирают ближний ИК-диапазон, чтобы излучение было невидимым:

Фотодиод BPD-RQ09DV



Семейство светодиодов L-53SFxС, лучше всего подходит L-53SF3C:



Фотодиоды, фототранзисторы, датчики на их основе

- ИК-светодиоды управляются так же, как и индикаторные, с учетом $U_{пр}$ и рабочего тока
- Фототранзисторы используются аналогично фотодиодам. Если база фототранзистора выведена на корпус, ее можно подключить к эмиттеру через высокоомный (сотни кОм) резистор
- Выпускается множество готовых датчиков:
 1. На отражение (рефлективных)
 2. На прерывание (целевых)
- Отдельный тип компонентов – **оптроны**

HOA1406

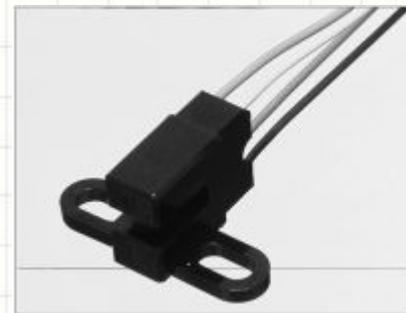
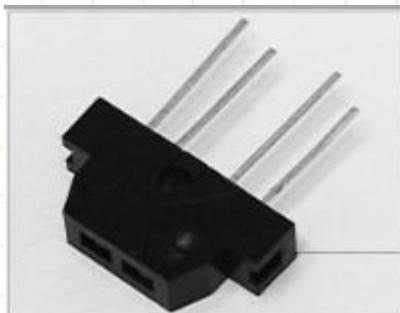
1

HOA0149

HOA096/097

2

HOA1887



Оптроны, оптосимисторы

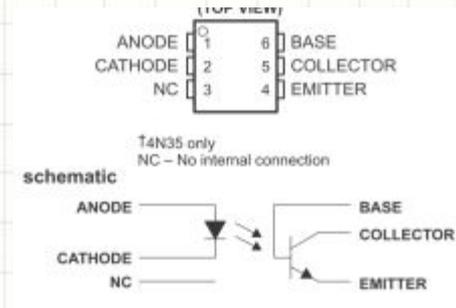
- Оптроны выпускаются в микросхемных корпусах и служат для передачи информации между электрически не связанными схемами

- Существуют оптроны с фототранзистором на выходе:

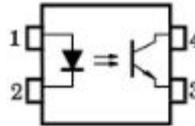
1. 4N35/36/37
2. TLP721
3. TLP781

- ...а также «цифровые» оптроны – выход ТТЛ-совместимый, гарантирует высокое быстродействие:
3. 6N137

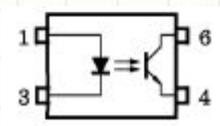
1



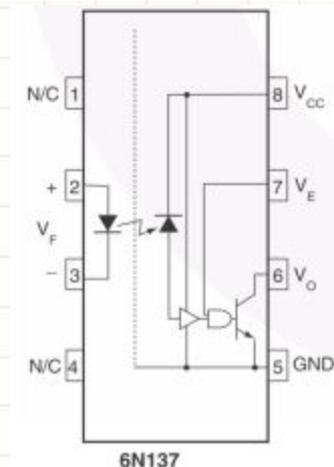
2



3



4



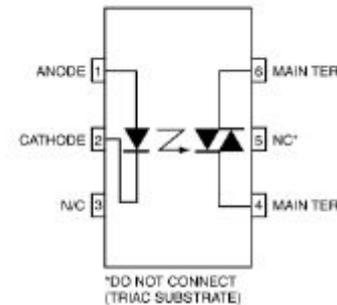
Оптроны, оптосимисторы

- Отдельный класс оптронов – оптосимисторы. Они служат для управления симисторами от изолированной схемы:

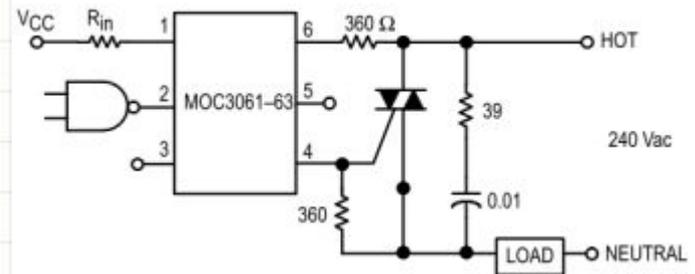
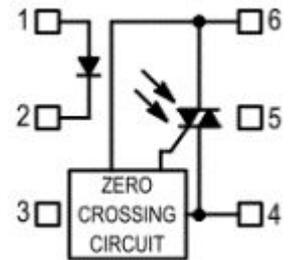
- МОС3010/11/12/20/21/23М (позволяют переключать симистор когда угодно)
- МОС3061/62/63 (позволяют переключать симистор только синхронно с «нулями» питающего напряжения промышленной сети)

- Схема включения – согласно документации, для 4-квadrантных симисторов

1



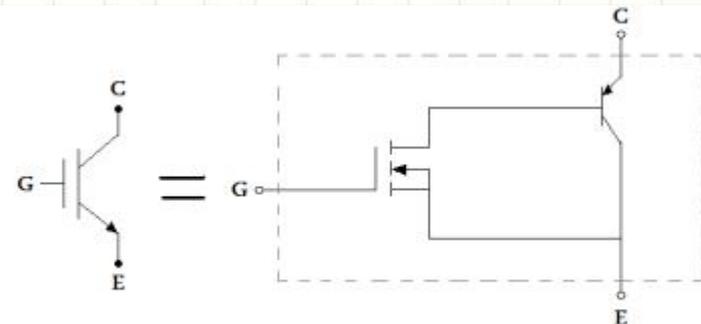
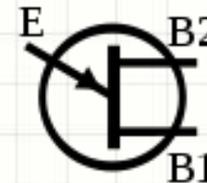
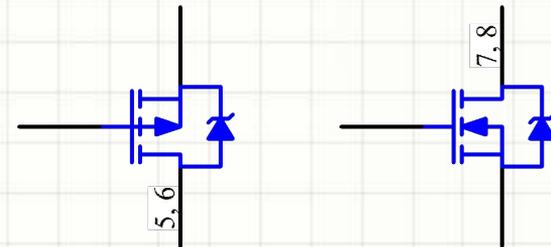
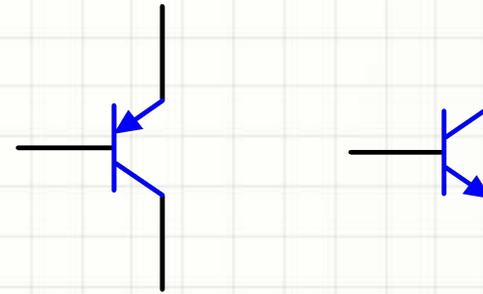
2



Транзисторы

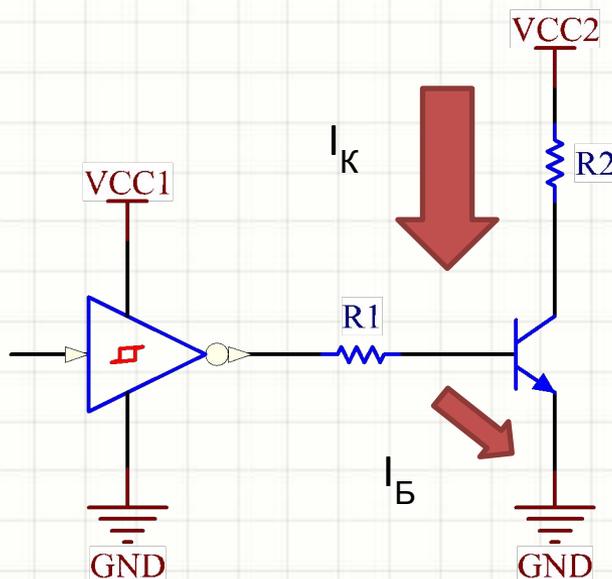
Широко
Используется
на практике

- Биполярные (BJT)
 - p-n-p
 - n-p-n
- Полевые
 - С изолированным затвором (МДП, MOSFET)
 - p-канальные
 - n-канальные
 - ПТШ и с управляющим p-n переходом (однопереходные):
 - p-канальные
 - n-канальные
- IGBT-транзисторы (сборка из полевого и биполярного транзистора, биполярный транзистор с изолированным затвором)



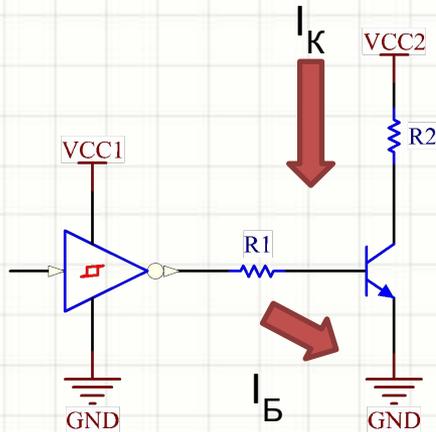
Биполярные транзисторы

- Усилительный элемент: малый ток базы управляет большим током коллектора
 - n-p-n транзисторы открываются током, втекающим в базно-эмиттерный переход
 - p-n-p – вытекающим из базно-эмиттерного перехода
 - ВАХ базно-эмиттерного перехода – как у обычного диода
- В современной практике востребован, главным образом, **транзисторный ключ**:



- Малый ток I_B коммутирует большой ток I_K (не более максимального для транзистора)
- Отношение I_B/I_K должно быть в 2-3 раза больше, чем $h_{21Э}$ (или β , или h_{FE})
- Для мощных транзисторов $h_{21Э}$ составляет десятки, для маломощных – сотни (указывается в документации на транзистор)

Транзисторный ключ на ВЛТ



- В схеме на n-p-n транзисторе VCC1 и VCC2 могут быть не равны, и зачастую VCC2 > VCC1
- VCC2 должно быть не более, чем $U_{кЭ, макс}$ (V_{CEO} – open base collector-emitter voltage)
- В режиме насыщения $U_{кЭ} = U_{кЭ, нас}$ (V_{CEsat} – collector-emitter saturation voltage, сотни мВ в зависимости от тока коллектора)

- Расчет предельно прост:

- $I_{Б, мин} = I_K / h_{21Э} \cong VCC2 / R2 / h_{21Э}$

- $I_B = 3 \cdot I_{Б, мин}$

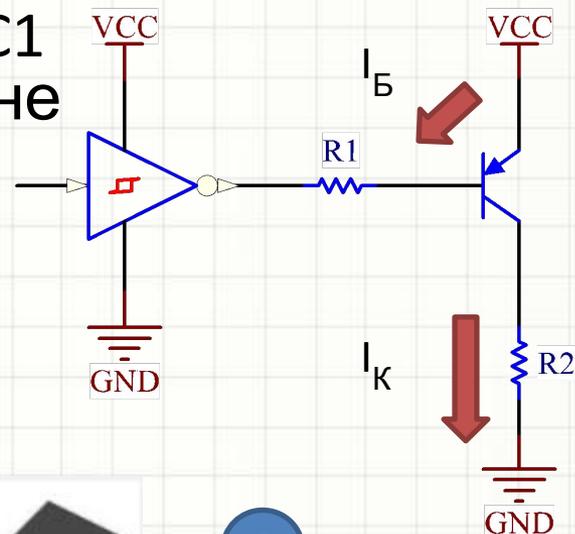
- $U_{R1} = VCC1 - U_{БЭ} \cong VCC1 - 0.7В$ (считаем напряжение лог. «1» равным VCC)

- $R1 = U_{R1} / 3 \cdot I_{Б, мин}$ (выбрать ближайший меньший номинал по E24)

- Например, пусть $I_K = 100$ мА, $h_{21Э} = 100$, VCC1 = 5В. Тогда $I_{Б, мин} = 1$ мА, $R1 = (5-0,7)/3 = 1.4$ кОм
- Мощность, выделяемая на транзисторном ключе, приблизительно равна $U_{кЭ, нас} \cdot I_K$

Транзисторный ключ на ВТТ

- В схеме на p-n-p транзисторе V_{CC1} и V_{CC2} равны, иначе транзистор не закроется
- В отличие от ключа на n-p-n транзисторе, этот ключ открывается уровнем лог. «0» на выходе управляющей ключом схемы
- Расчет аналогичен
- Популярные транзисторы:
 - Маломощные:
 - Маломощные n-p-n: BC817(см.1), BC847(1), BC547 (2)
 - Маломощные p-n-p: BC807(1), BC857(1), BC557(2)
- Средней мощности (3):
 - BCP56 (n-p-n), BCP53 (p-n-p)



1



2



3



Популярные биполярные транзисторы

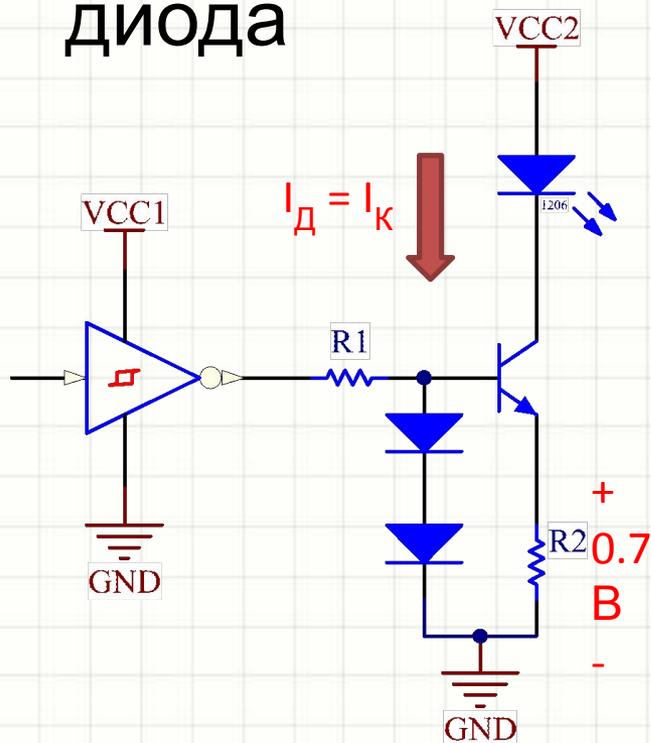
- Обычно полное наименование транзистора включает еще и буквы латинского алфавита
- Это – указание на модификацию и значение h_{21} :

h _{FE}	DC current gain	I _C = 10 μA; V _{CE} = 5 V; see Figs 2, 3 and 4			
	BC846A; BC847A		–	90	–
	BC846B; BC847B		–	150	–
	BC847C		–	270	–
h _{FE}	DC current gain	I _C = 2 mA; V _{CE} = 5 V; see Figs 2, 3 and 4			
	BC846		110	–	450
	BC847		110	–	800
	BC846A; BC847A		110	180	220
	BC846B; BC847B		200	290	450
	BC847C		420	520	800

- Вместо мощных биполярных транзисторов для построения ключей используют полевые транзисторы
- Линейные схемы на биполярных транзисторах рассмотрим в составе более сложных схем. Двухтактных усилителей и регуляторов напряжения на ВТ давно не строят!

Простой отключаемый источник тока

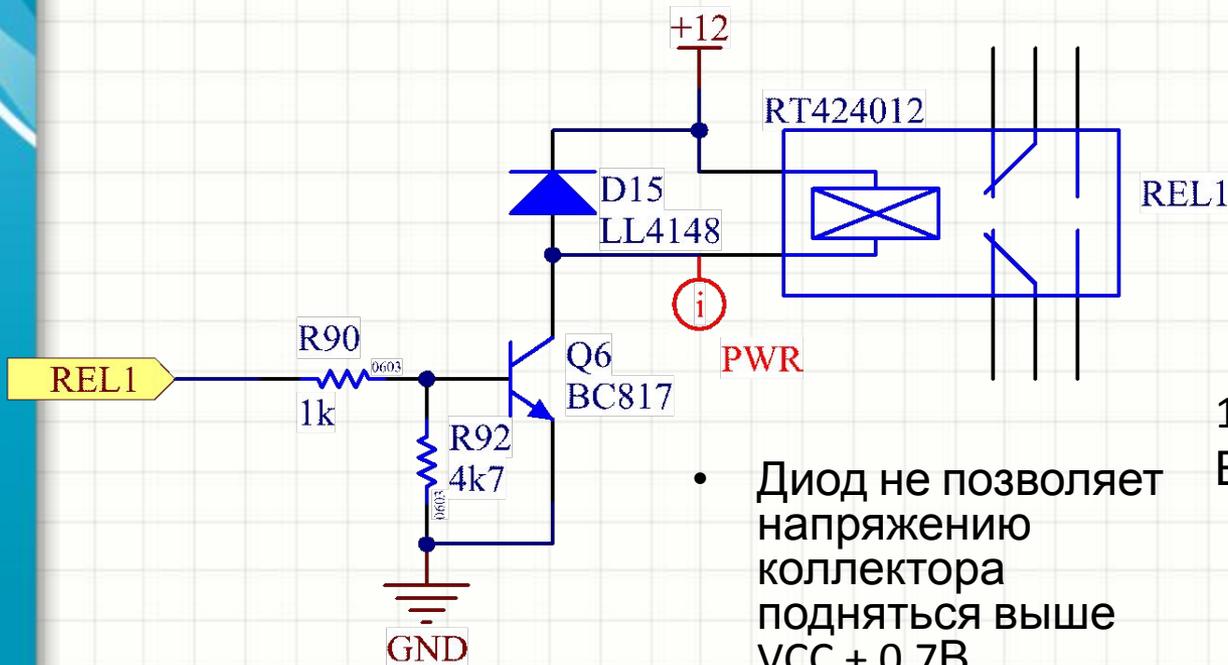
- Схема полезна при управлении сравнительно мощными светодиодами
- Включается уровнем лог. «1», стабилизирует ток при дрейфе VCC и $U_{\text{пр}}$ диода



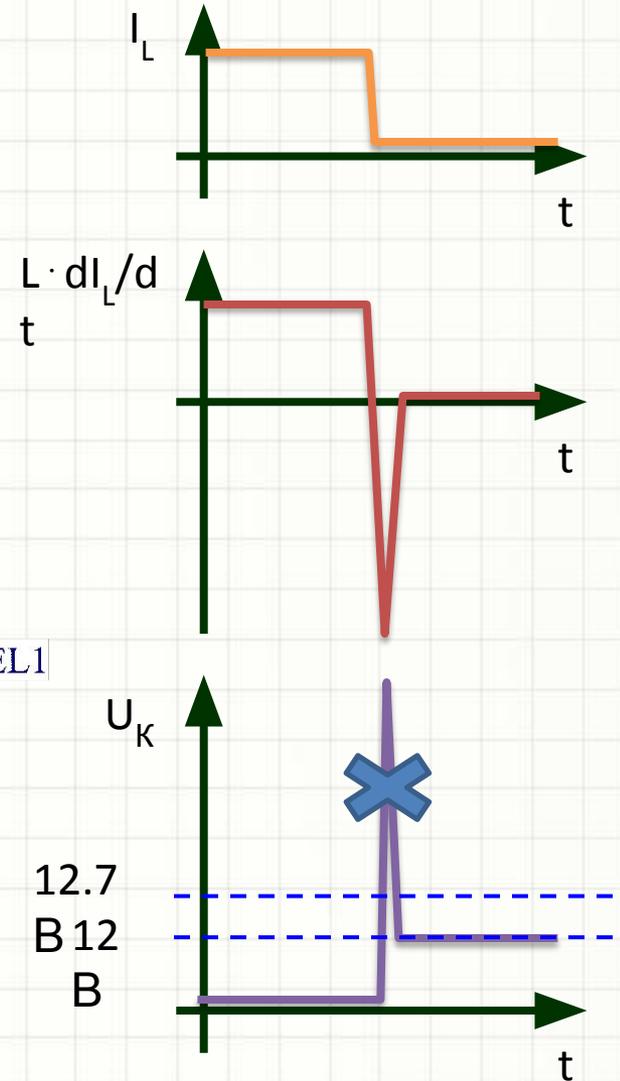
- $I_{\text{Д}} = I_{\text{К}} = \text{const}$, т.к.:
 - $U_{\text{R2}} + U_{\text{БЭ}} = 2 \cdot U_{\text{Д}}$
 - $I_{\text{R2}} = U_{\text{Д}} / R2$
 - $I_{\text{Д}} \approx I_{\text{R2}} = 0.7\text{В} / R2$
- Подобную схему можно построить и на p-n-p транзисторе

Управление индуктивными нагрузками

- При управлении индуктивными нагрузками (например, обмотками возбуждения реле) транзисторные ключи обязательно защищаются диодами
- Катушка возбуждения электрически – индуктивность. Т.к. $U_L = L \cdot di_L/dt$, в момент выключения реле на коллекторе возникает выброс напряжения в сотни и даже тысячи Вольт и повреждает транзистор

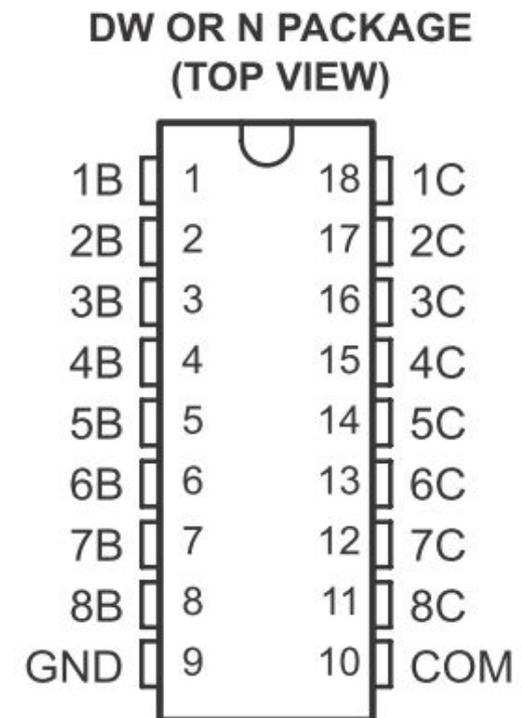
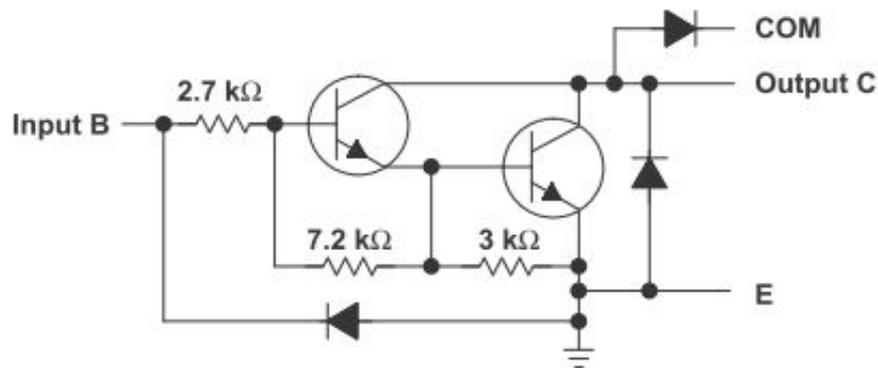


- Диод не позволяет напряжению коллектора подняться выше $V_{CC} + 0.7V$



Составной транзистор (Дарлингтона)

- Обладает много большим $h_{21Э}$ (коэффициенты усиления двух транзисторов перемножаются)
- Обладает существенно меньшим быстродействием
- Напряжение «суммарного» $U_{КЭ,нас}$ выше (порядка 1В)
- Выпускаются готовые сборки (например, ULN2003) со встроенными резисторами под управления от цифровых микросхем ТТЛ- или КМОП-серий

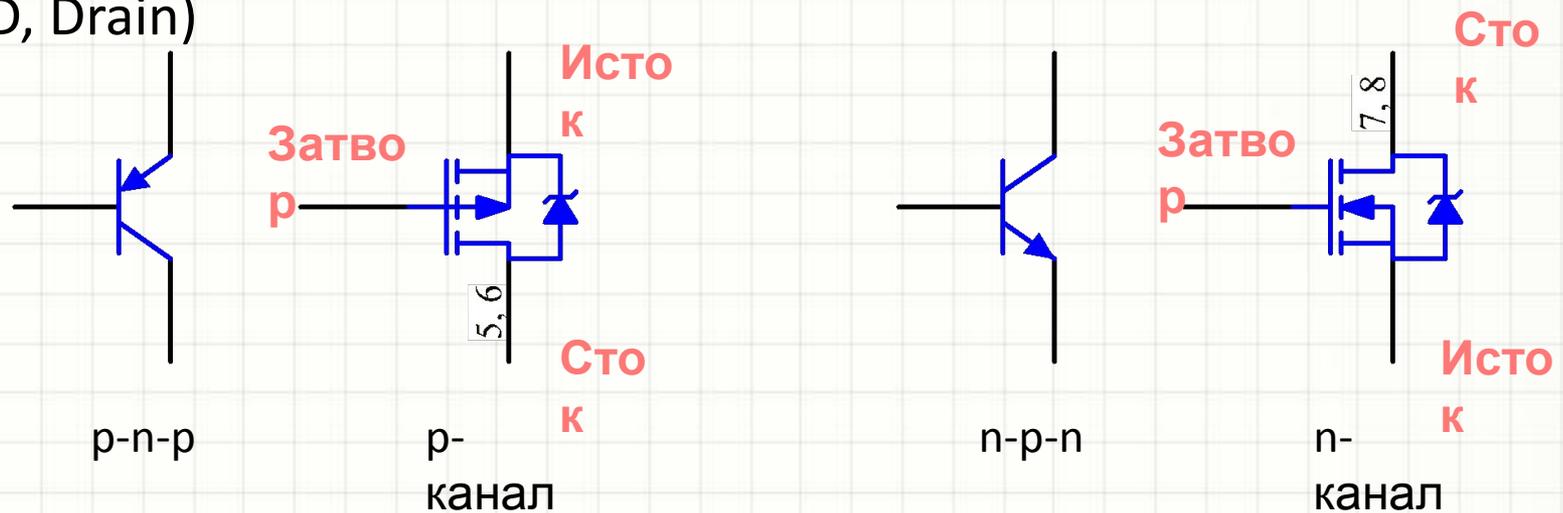


Полевые транзисторы

- В ключевых схемах используются МДП-транзисторы
- Превосходят биполярные по ряду параметров:
 - По быстродействию в ключевом режиме
 - По максимальным коммутируемым токам при тех же габаритах: сопротивление канала в открытом состоянии $R_{DS,on}$ составляет милиомы, что обычно дает меньшую мощность при том же токе
 - По току управления – в статическом режиме ток затвора равен нулю
- Ключи на полевых транзисторах применяются вместо биполярных в:
 - Схемах с широтно-импульсной модуляцией
 - Импульсных источниках питания
 - Схеме управления электропитанием

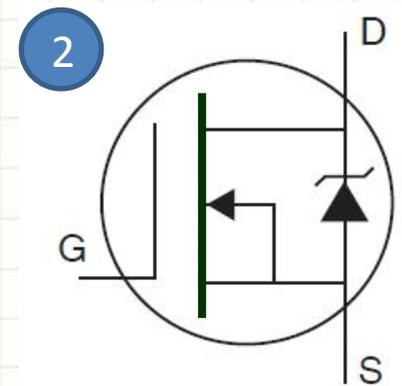
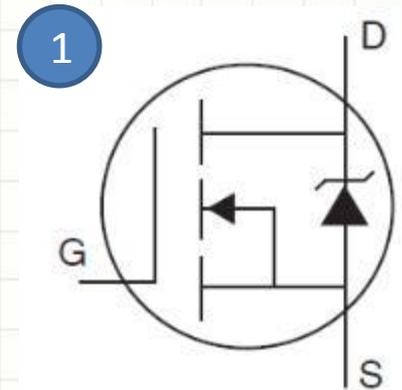
МДП-транзисторы

- Обычно студенты путаются в УГО МДП-транзисторов
- Запомнить просто:
 - Стрелочка изображается на «подложке»
 - Направление стрелочки противоположно направлению стрелочки эмиттера «аналогичного» биполярного транзистора
 - В ключевых схемах р-канальный MOSFET является аналогом р-n-p транзистора, n-канальный – n-p-n транзистора
- МДП-транзисторы открываются потенциалом затвора (G, Gate) относительно истока (S, source). Третий вывод – сток (D, Drain)



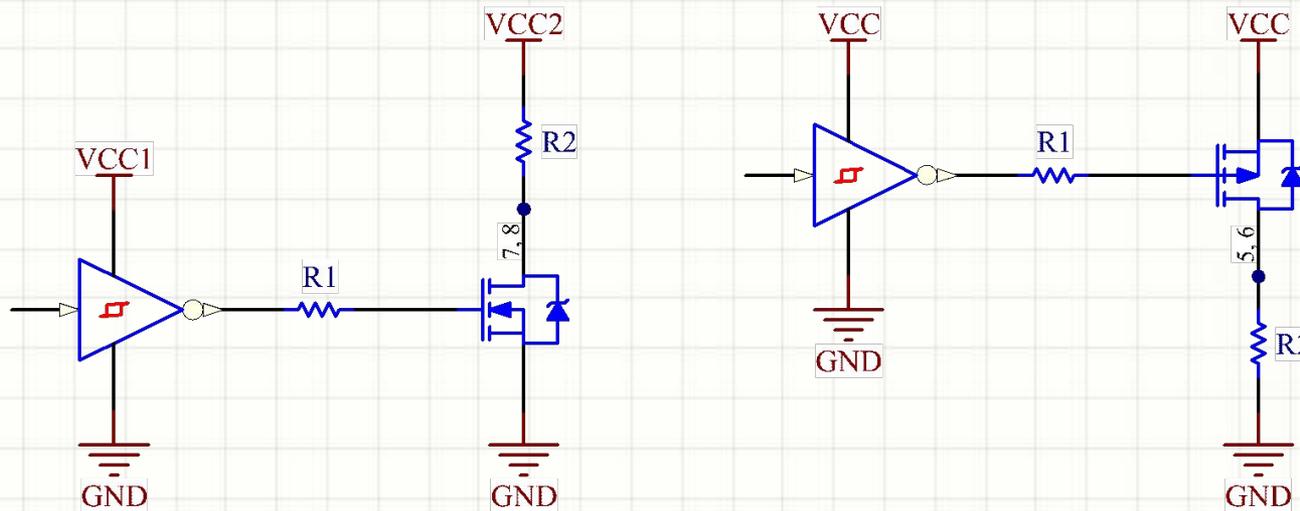
МДП-транзисторы

- Не запутаться, где сток, а где исток, помогает диод, «встроенный» в реально выпускаемые транзисторы
- Это диод в рабочем режиме смещен обратно и выполняет защитную функцию (см. управление реле)
- На самом деле его происхождение связано с технологиями и структурой МДП-транзистора и изначально он получился «случайно»
- Существуют МДП-транзисторы не только с индуцированным (enhancement mode, 1) но и встроенным (depletion mode, 2) каналом, но они почти не применяются
- Ключевые параметры МДП-транзисторов:
 - Максимальное рабочее напряжение V_{GS} (Gate-to-Source Voltage)
 - Сопротивление канала в режиме насыщения ($R_{DS,on}$)
 - Максимальный импульсный и продолжительный ток канала (I_{DM}, I_D)
 - Пороговое напряжение V_{GT} (Gate threshold voltage)
 - Скоростные характеристики (время включения и выключения, емкость затвора)



Ключи на МДП-транзисторах

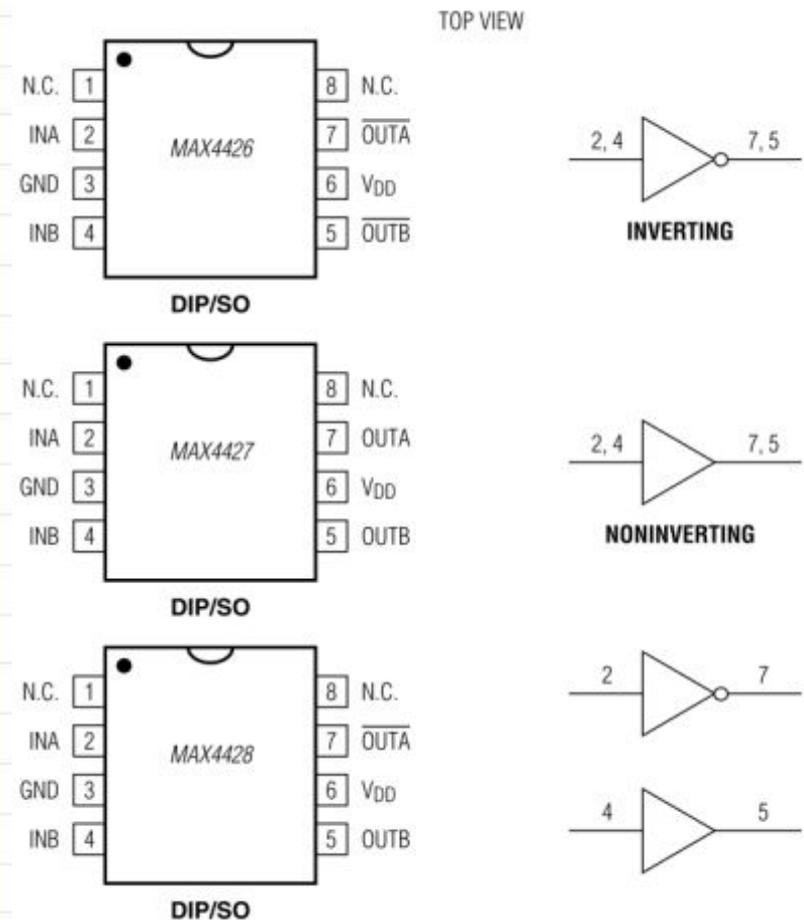
- Аналогично биполярным транзисторам:



- Сопротивление R1 не задает ток затвора в статическом режиме – это ток равен нулю
- Резистор нужен чтобы задать ток, который вытекает из **драйвера** транзистора (на схеме – элемент НЕ) на перезарядку емкости затвора
- Чаще всего этот резистор выбирают в диапазоне 10-100 Ом
- R2 – резистор нагрузки

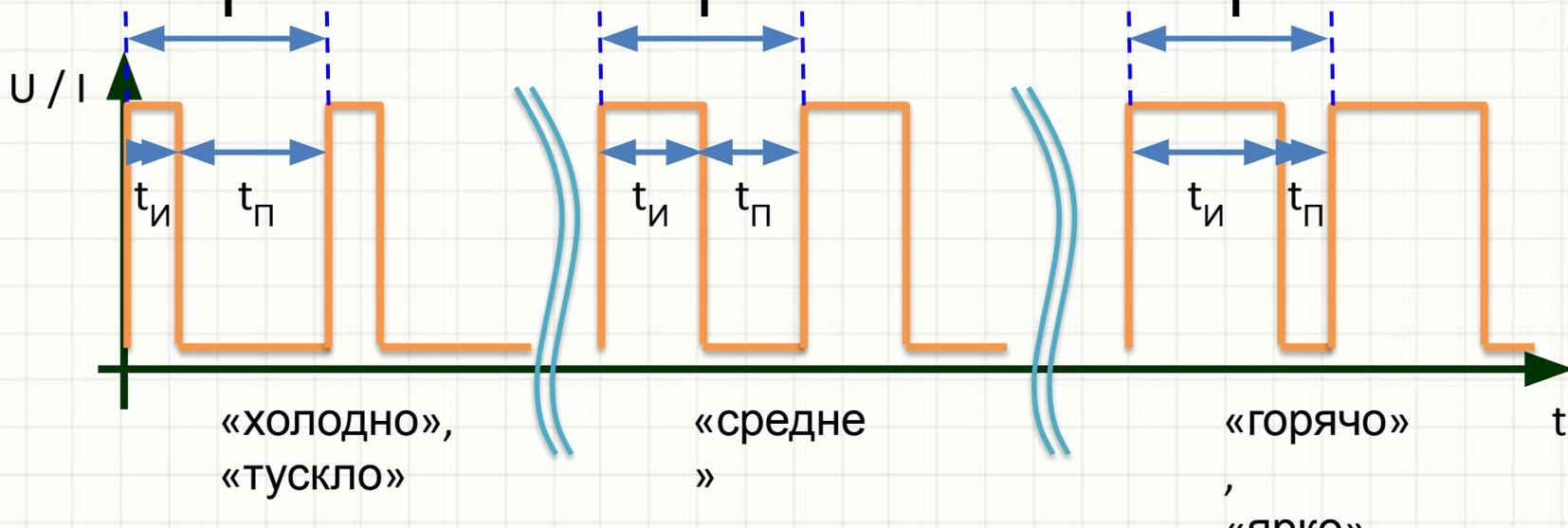
Ключи на МДП-транзисторах

- Существуют специальные микросхемы-драйверы ключей на MOSFET
- Очень популярна микросхема MAX4426/27/28
- Входные уровни микросхемы – TTL-совместимы
- Напряжение питания 4.5...18 В
- Выходное сопротивление мало (4 Ома) – ИМС может быстро открывать и закрывать полевые транзисторы
- Высокое напряжение питания позволяет управлять р-каналь-ными транзисторами с



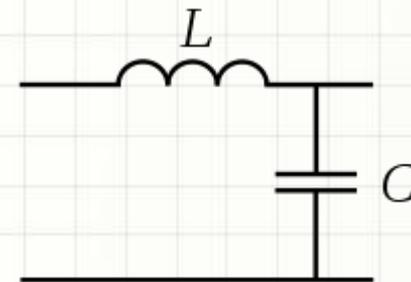
Широтно-импульсная модуляция

- Тема ШИМ неразрывно связана с ключами на полевых транзисторах
- Идея ШИМ заключается в том, что уровень тока (напряжения) настраивается не путем линейного (непрерывного) изменения тока (напряжения) а путем включения и выключения нагрузки
- Соотношение времени, когда нагрузка включена ($t_{И}$) к времени, когда она выключена ($t_{П}$), меняет средний ток / напряжение / мощность
- Удобнее оперировать понятием «скважность» - отношением $t_{И} / T$, где T – период на временной диаграмме состояния нагрузки
- Представьте себе нагреватель или осветительный прибор:

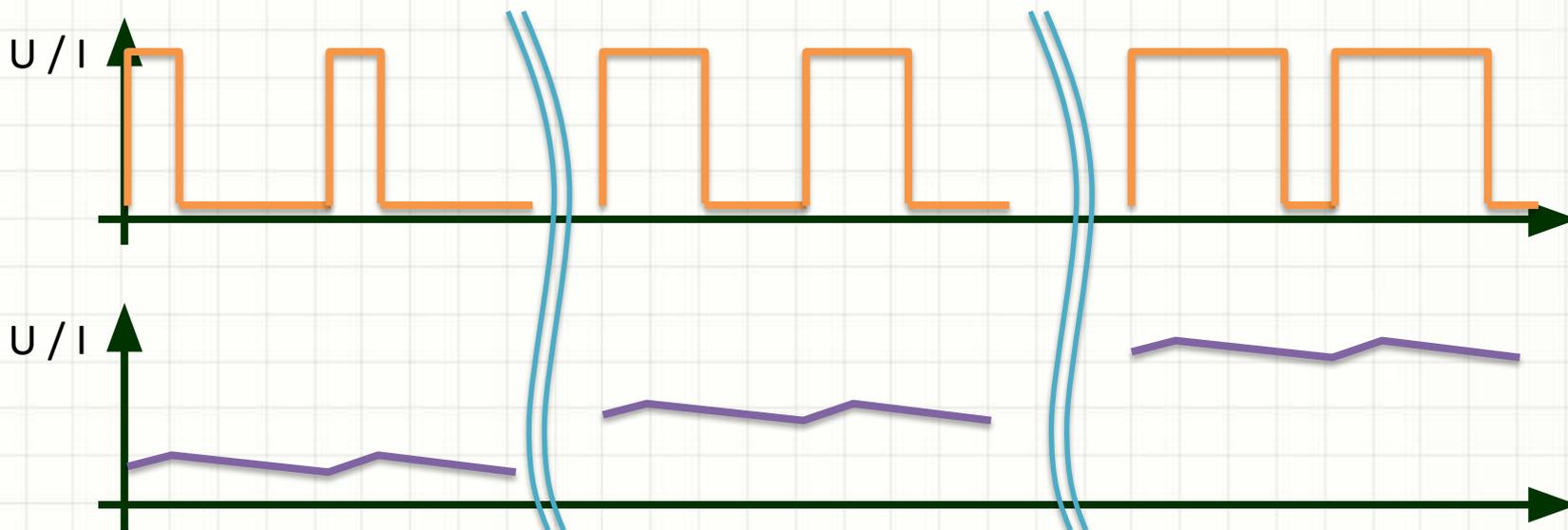


Широтно-импульсная модуляция

- Если речь идет о нагревательном или осветительном приборе, T нужно выбрать так, чтобы человек не ощущал колебаний температуры или мерцания осветительного прибора
- Если при помощи ШИМ нужно сформировать ток или напряжение, ШИМ-сигнал подается на RC, а чаще – LC-фильтр, частота среза которого существенно ниже **несущей частоты ШИМ** ($f = 1/T$)

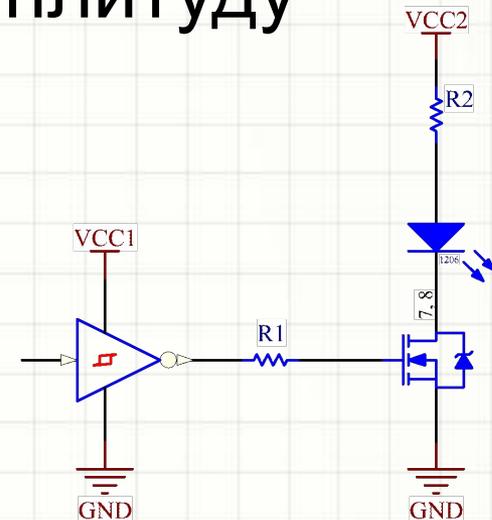


$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$$



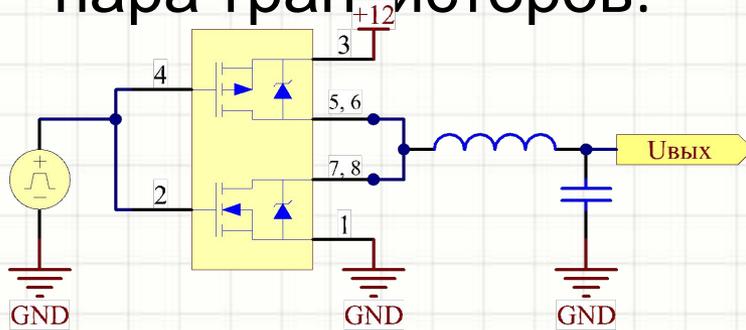
Широтно-импульсная модуляция

- Чем больше отличаются f и f_0 фильтра, тем меньше пульсации на выходе
- Обычно задает временную диаграмму ШИМ-сигнала какая-то аналоговая или чаще – цифровая схема с ТТЛ-выходом, а транзисторные ключи на полевых транзисторах буферизуют полученный сигнал и увеличивают его амплитуду
- Для осветительного или нагревательного прибора достаточно одного ключа, и **фильтр не требуется**

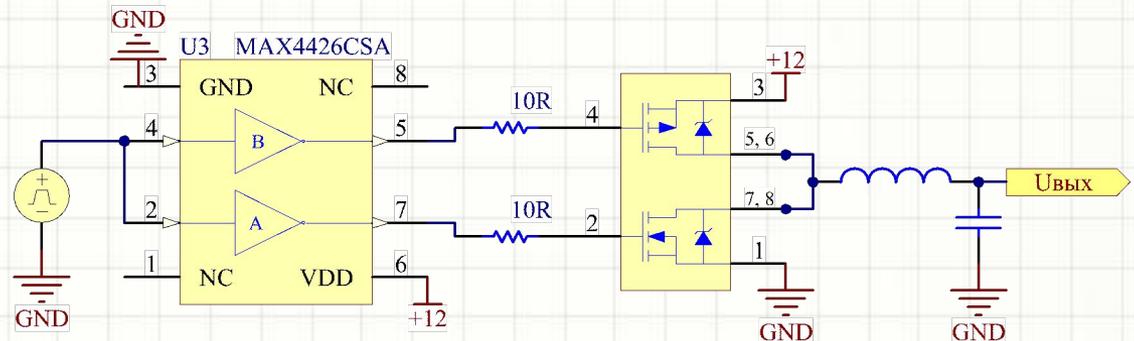


Широтно-импульсная модуляция

- Для получения тока или напряжения, усиления сигналов звуковой частоты и т.д. нужен фильтр и пара транзисторов:



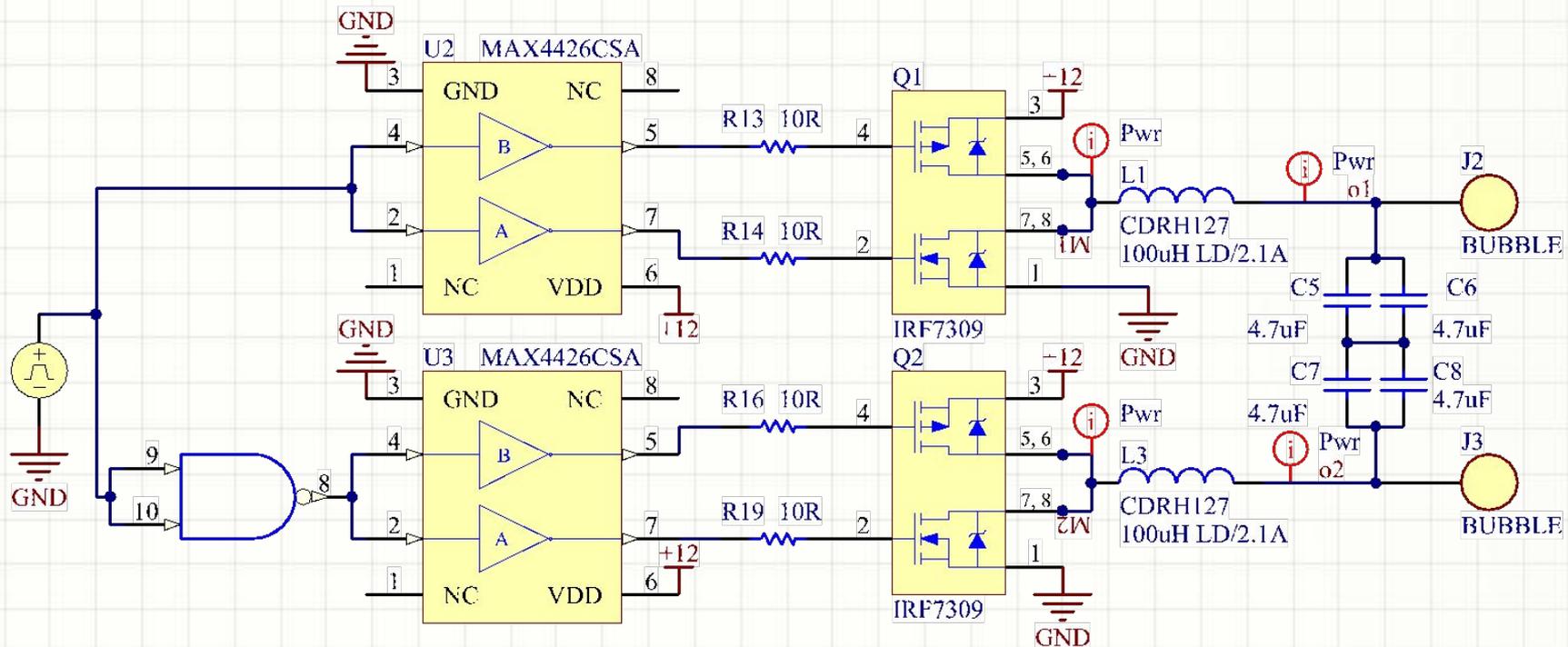
- Если напряжение питания схемы, задающей временную диаграмму ШИМ, и напряжение питания полумоста не совпадают, нужна микросхема-драйвер



- Иногда удобно использовать пару р- и n-канальных транзисторов - **ПОЛУМОСТ**
- Они будут открываться в противофазе

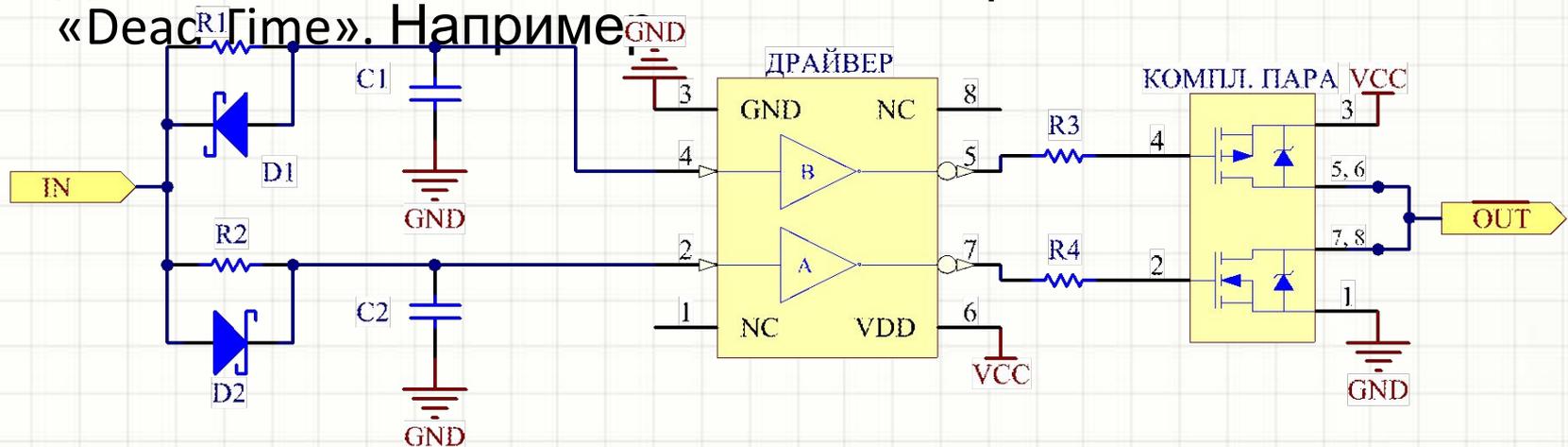
Широтно-импульсная модуляция

- Часто использую два полумоста, работающих в противофазе
- Показанная схема еще и удваивает напряжение на нагрузке (BTL, *Bridge-tied load*)
- Нагрузка подключается не между выходом одного полумоста и землей, а между выходом полумостов, работающих в противофазе:

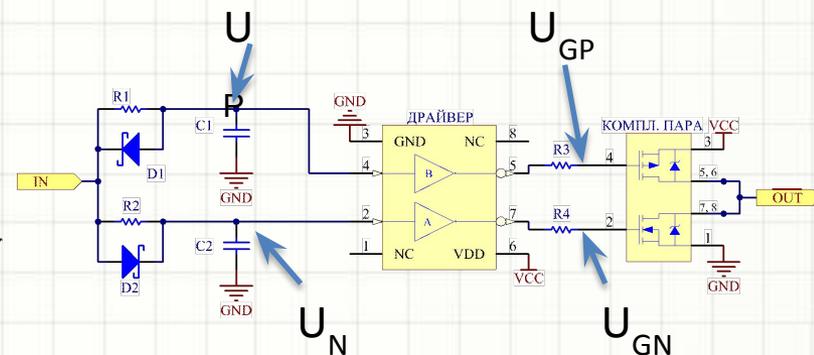
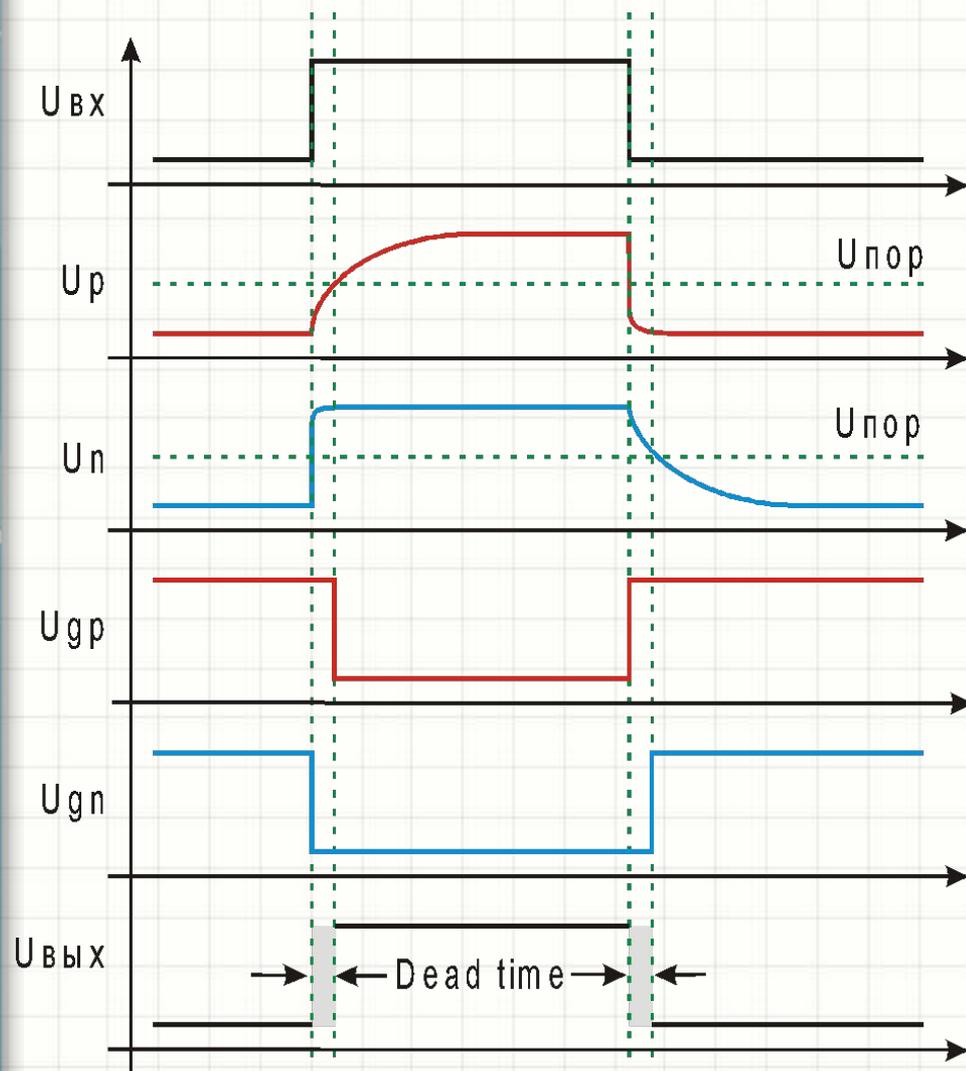


Широтно-импульсная модуляция

- Проблема полумостовых схем – короткие импульсы тока большой амплитуды, протекающие из цепи питания в землю сквозь оба ключа в момент, когда полумост переключается (оба транзистора проводят)
- Чтобы сквозных токов не было, нужно переключать полумост так:
 - Сначала закрыть исходно открытый ключ (оба ключа закрыты)
 - Затем открыть исходно закрытых ключ (состояние изменилось на противоположное)
- Достичь этого позволяют цепи задержки, называемой «Dead Time». Например



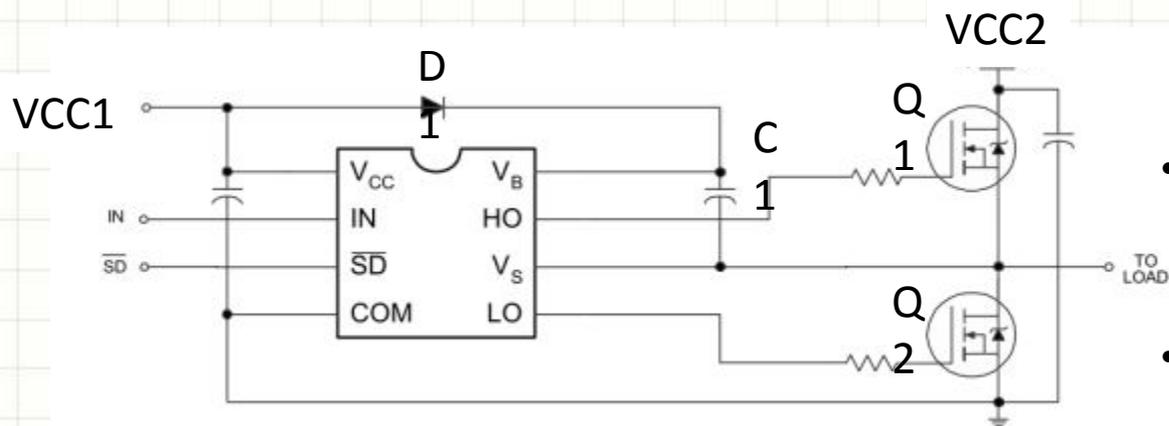
Широтно-импульсная модуляция



- Время, когда оба ключа закрыты, называется «Dead Time»
- Многие ИМС-драйверы мощных МОП транзисторов имеют встроенные генераторы этого «мертвого времени»

Широтно-импульсная модуляция

- Мощные полумосты обычно строят на двух n-канальных транзисторах (они лучше по характеристикам)
- Чтобы удерживать в открытом виде верхний транзистор в течение какого-то времени, на его затвор нужно подавать потенциал выше U_{Γ} полумоста
- Делается это при помощи микросхемы-драйвера (например, IR2104)
- Q2 открывается напряжением V_{CC1} , его достаточно ($V_{CC1} > V_{GT}$)
- Когда Q2 открыт, C1 заряжается до V_{CC} через диод D1
- Q2 закрывается, и напряжение $U_{C1} = V_{CC1}$ через драйвер прикладывается между стоком и затвором Q1



- C1 называется bootstrap capacitor, или конденсатор вольтодобавки
- Напряжение затвор-сток Q1, пока он открыт, составляет $V_{CC2} + V_{CC1}$
- Долго в таком состоянии схема находиться не может!

Популярные полевые транзисторы

- Малой и средней мощности:

1. IRLML6402 (р-канальный)
2. IRML2402 (n-канальный)
3. IRF7309 (сборка р- и n-канального транзистора)

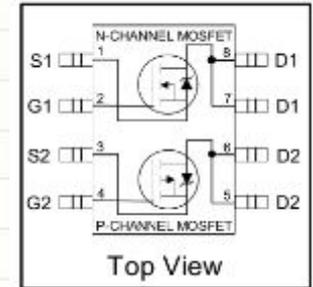
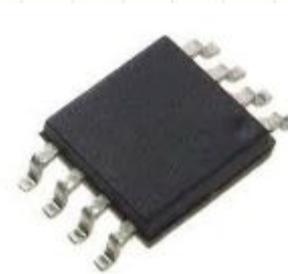
- Мощные:

4. IRF9540 (р-канальный)
5. IRF540 (n-канальный)

1 2

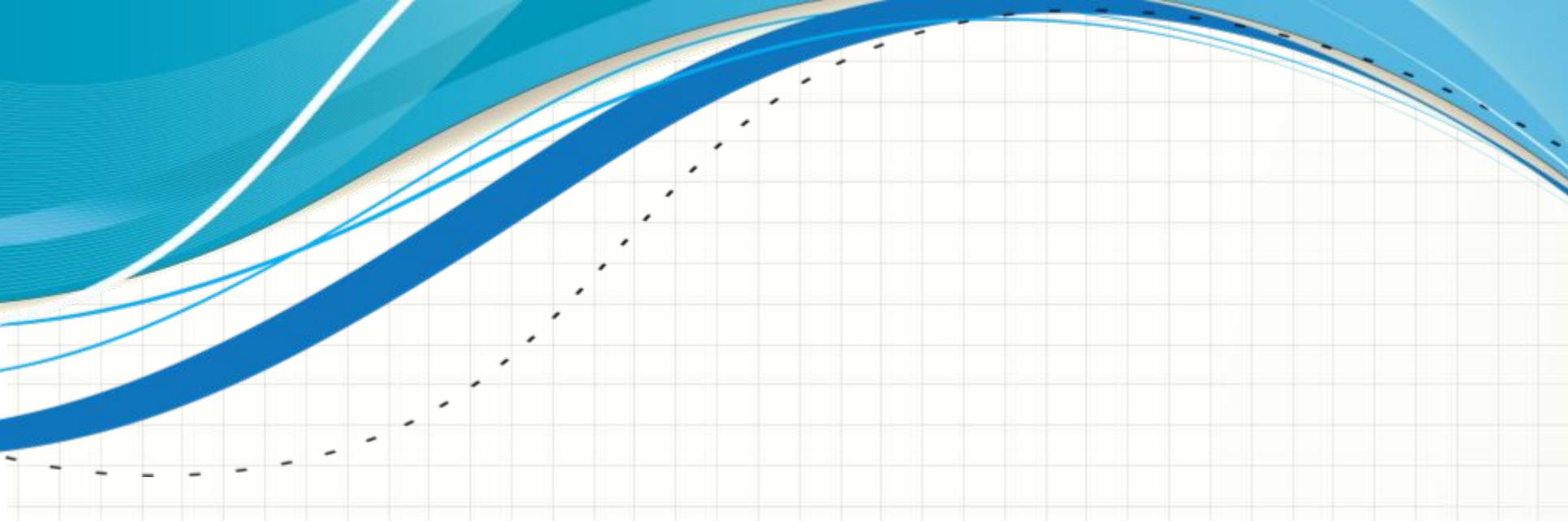


3



4 5





АНАЛОГОВЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Содержание

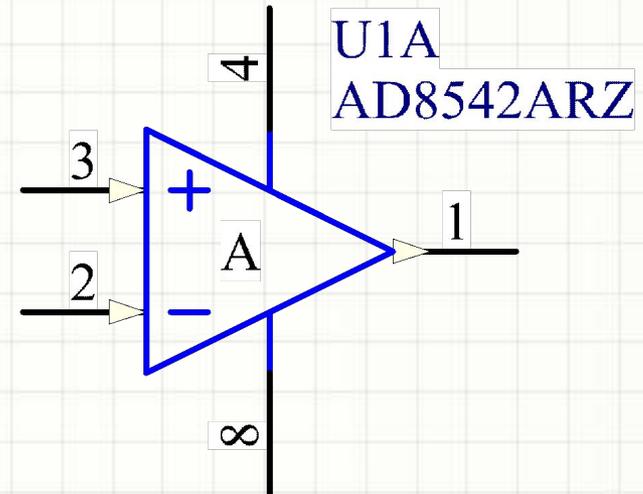
- Операционные усилители и схемы на их основе
- Аналоговые компараторы
- Линейные регуляторы напряжения
- Расчет простейшего линейного источника питания на трансформаторе и линейном регуляторе

Операционные усилители

- В курсовых проектах нужны нечасто, однако, понимание работы ОУ – **неотъемлемая часть понимания схемотехники вообще**
- ОУ – микросхема, построенная на десятках транзисторов (полевых или биполярных).
- Представляет собой готовый усилитель
- Входным сигналом для ОУ является разница напряжений ($U^+ - U^-$)
- Выходное напряжение

$$U_{\text{ВЫХ}} = (U^+ - U^-) * K$$

где K – собственный коэффициент усиления ОУ



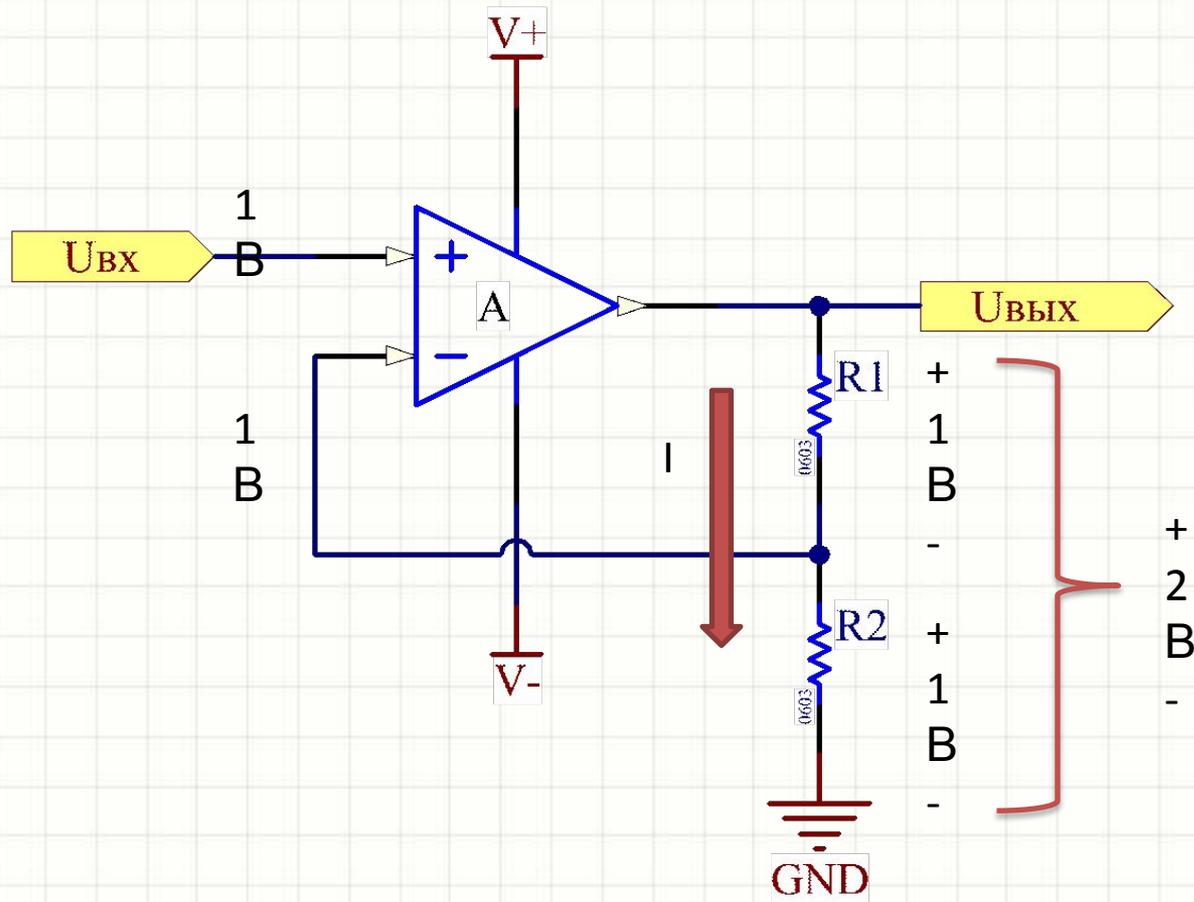
у идеального ОУ $K = \infty$

Что такое ОУ?

- Известны так наз. «золотые правила» ОУ, они же – свойства идеального усилителя
- **Главные правила ОУ:**
 - Во входы ОУ ток не течет
 - В схеме с отрицательной обратной связью $U^+ = U^-$
- Менее важные:
 - Коэффициент усиления ОУ бесконечен
 - Коэффициент усиления ОУ не зависит от частоты
 - ОУ не задерживает сигнал
 - Выходной ток ОУ бесконечен
- Что стоит за этими правилами?

Что такое ОУ?

- Проанализируем правила на практике
- Резистор R1 создает **отрицательную обратную связь**, соотношение R1 и R2 регулирует ее глубину:



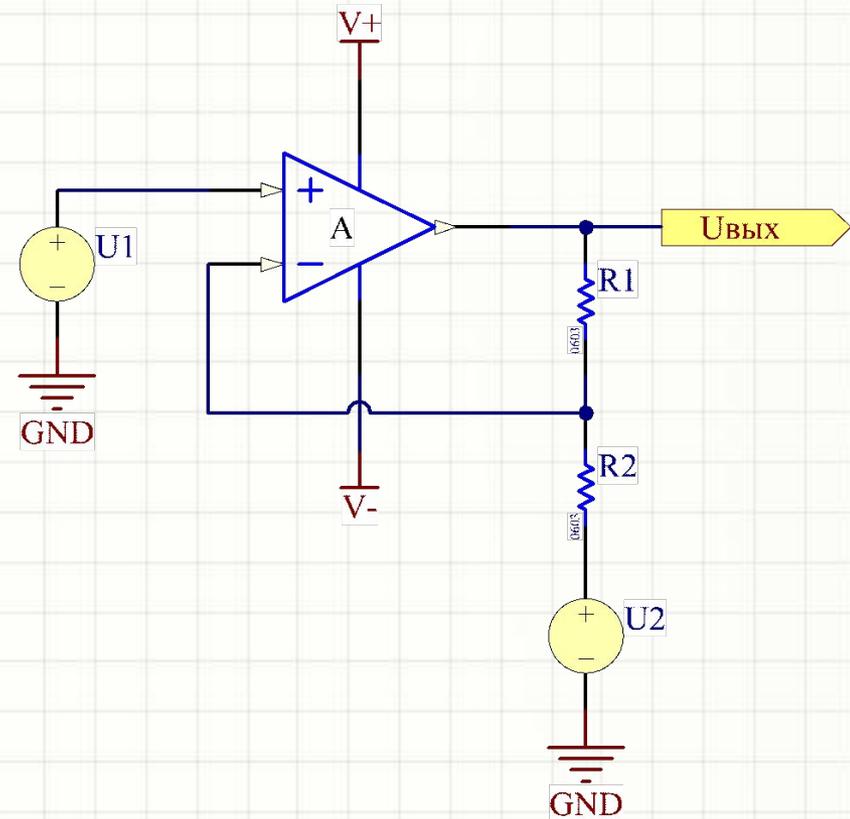
Что такое ОУ?

- Для анализа ОУ удобнее руководствоваться не золотыми правилами, как они есть, а представить, что ОУ «работает» по такому алгоритму:
 - Если напряжение U^+ выше, чем U^- , ОУ увеличивает напряжение на выходе
 - Если напряжение U^+ ниже, чем U^- , ОУ уменьшает напряжение на выходе
 - Напряжение на выходе никак не меняется, только если напряжения на входах ОУ строго равны
- Такой подход объясняет главную «абстракцию» ОУ – бесконечный коэффициент усиления: *чтобы при каком-то конечном входном напряжении усилительного каскада получить конечное напряжение на его выходе, при бесконечном K самого ОУ напряжение на входе самого ОУ ($U^+ - U^-$) должно быть нулевым:*

$$(U^+ - U^-) \cdot \infty = 0 \cdot \infty = \text{«что-то конечное»}$$

Инвертирующий и неинвертирующий каскады

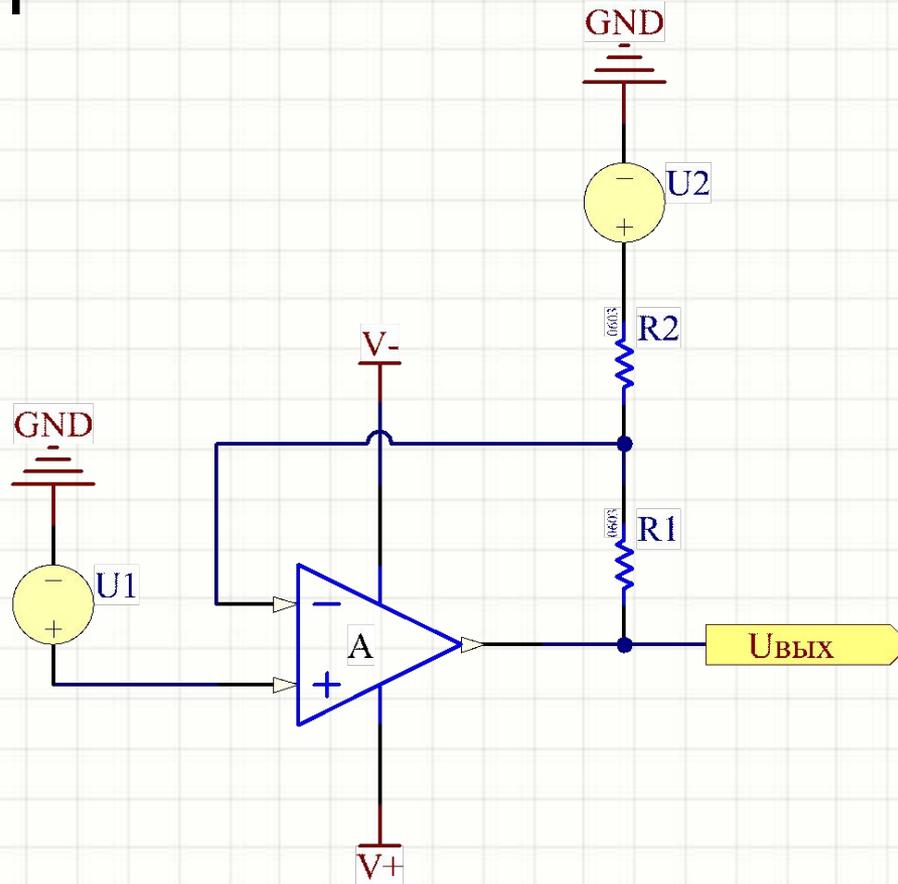
- Что изображено на схеме справа – инвертирующий или неинвертирующий каскад?



- Пусть, к примеру, $U_2 = 0 \dots$

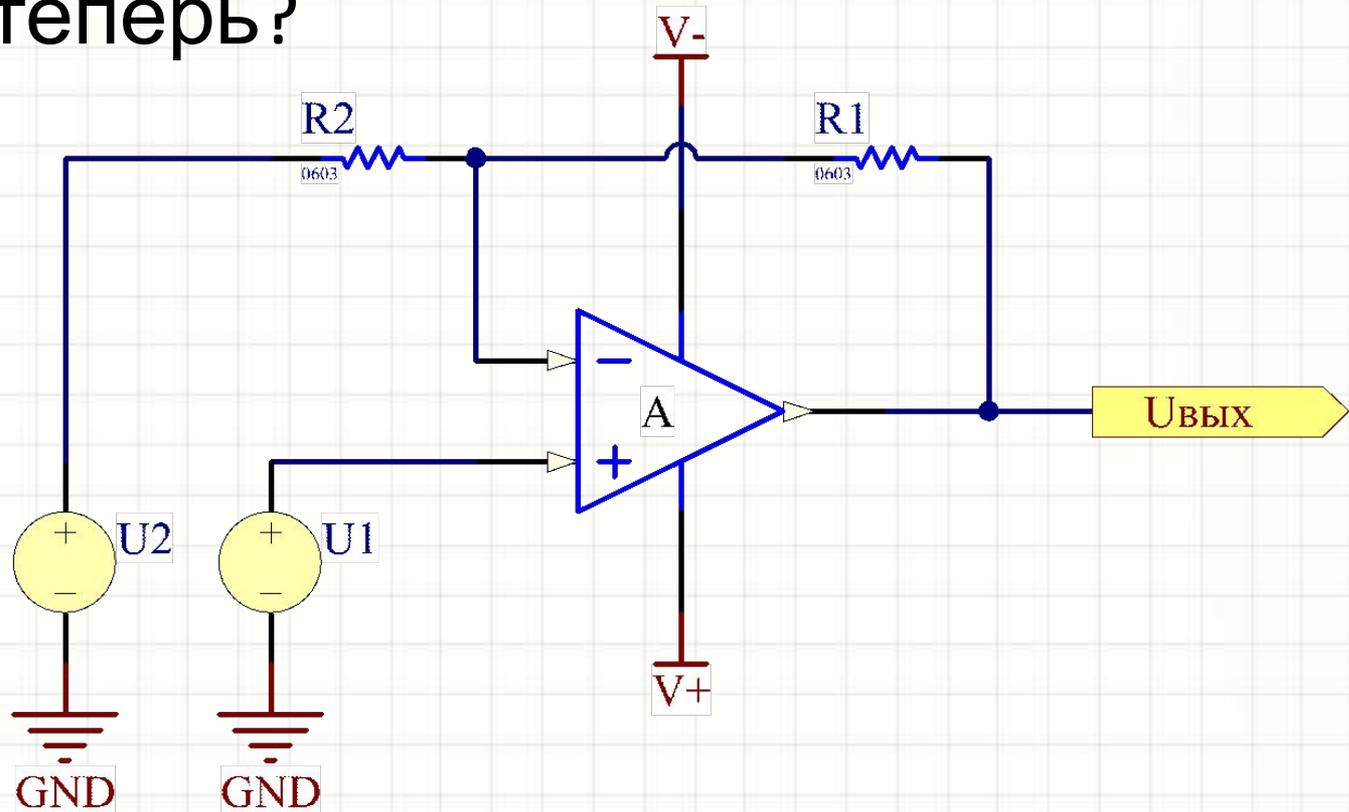
Инвертирующий и неинвертирующий каскады

- А теперь?



Инвертирующий и неинвертирующий каскады

- А теперь?



- На самом деле, инвертирующий и неинвертирующий каскады, по сути – **абсолютно одно и то же!**

Инвертирующий и неинвертирующий каскады

- Чтобы лучше понять все усилительные схемы на ОУ, проанализируем эту схему с двумя источниками напряжения:

- $I = (U_{\text{ВЫХ}} - U_2) / (R1+R2)$
- $U_{R2} = (U_{\text{ВЫХ}} - U_2) \cdot R2 / (R1+R2)$
- $U_1 = U^{(+)} = U^{(-)} = U_{R2} + U2$

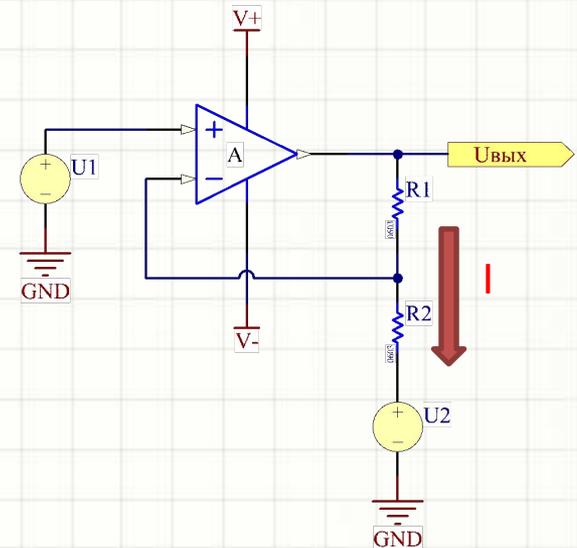
тогда

- $U1 = (U_{\text{ВЫХ}} - U_2) \cdot R2 / (R1+R2) + U2$

преобразуем выражение:

- $(U_{\text{ВЫХ}} - U_2) = (U_1 - U_2) \cdot (R1+R2)/R2,$
- $(U_{\text{ВЫХ}} - U_2) = (U_1 - U_2) \cdot (1+R1/R2),$

- $U_{\text{ВЫХ}} = U_1 \cdot (1+R1/R2) - U_2 \cdot (R1/R2)$

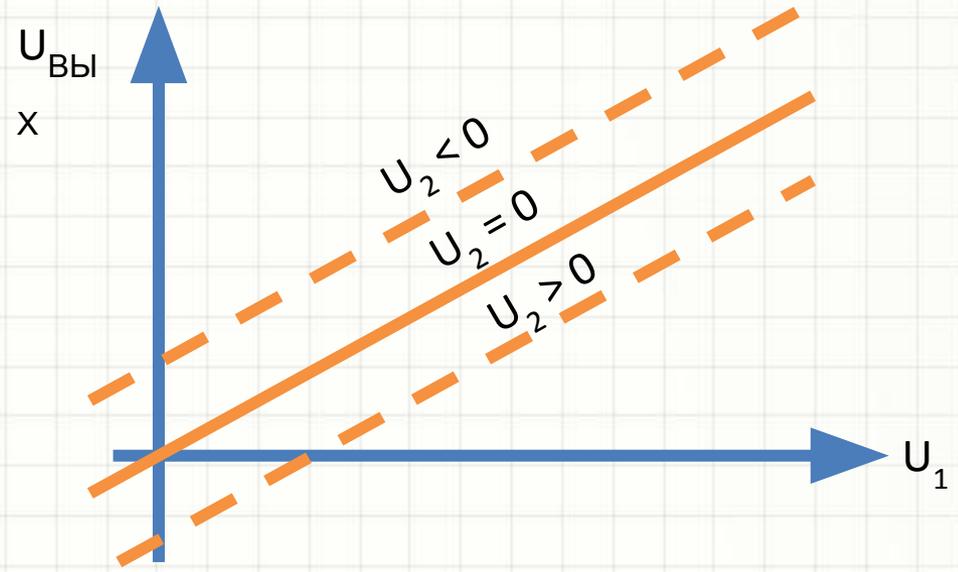
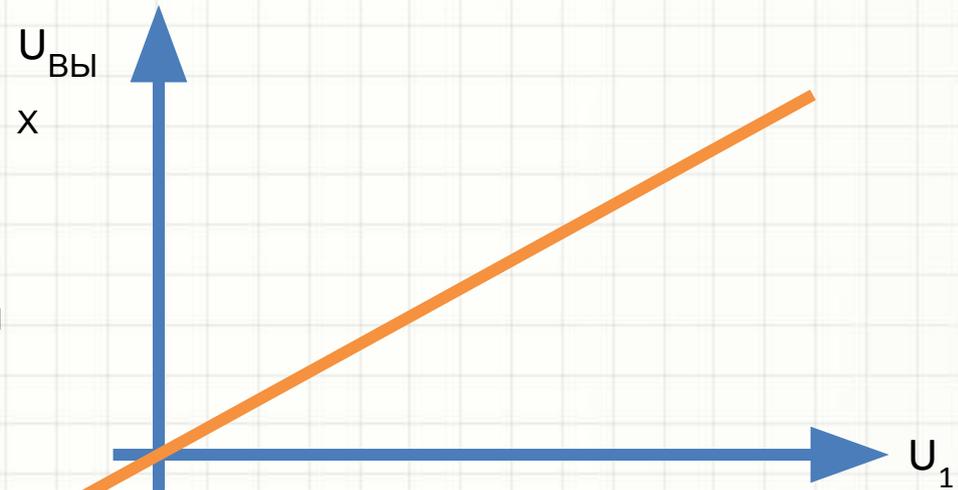
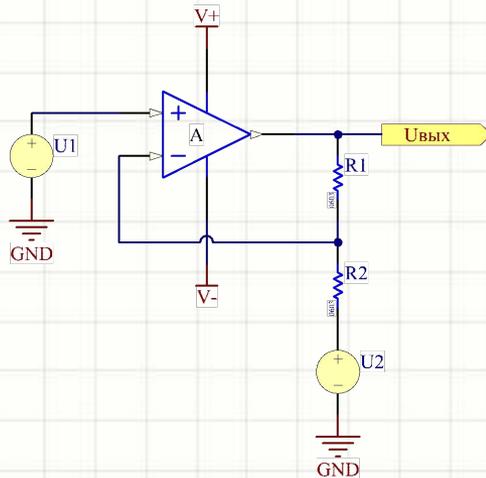


Неинвертирующий усилитель

Инвертирующий усилитель

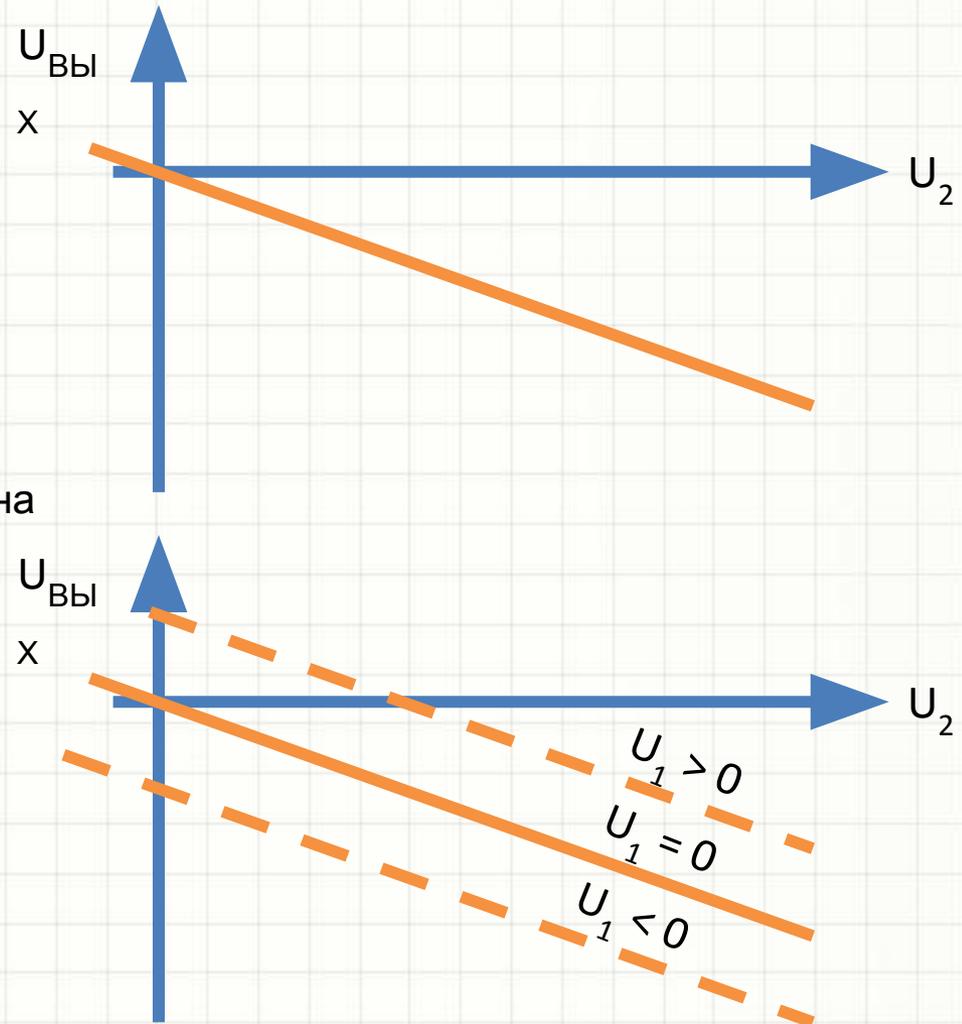
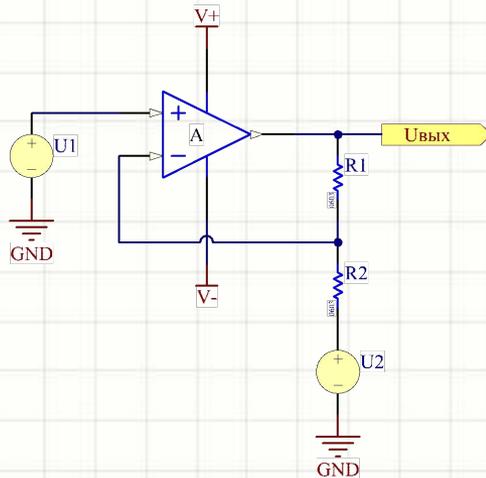
Инвертирующий и неинвертирующий каскады

- Пусть, изменяющийся сигнал, который мы хотим усилить – это напряжение U_1 , а U_2 это какое-то постоянное напряжение (константа)
- При $U_2 = 0$ мы имеем обычный неинвертирующий усилитель с такой характеристикой, выходящей из начала координат
- При $U_2 > 0$ характеристика **смещается** вниз, при $U_2 < 0$ – вверх на величину $U_2 \cdot (R1/R2)$



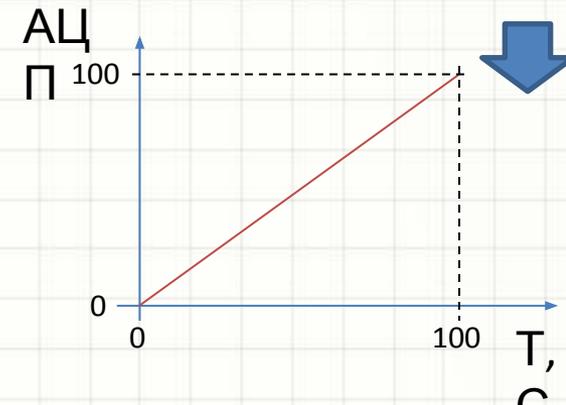
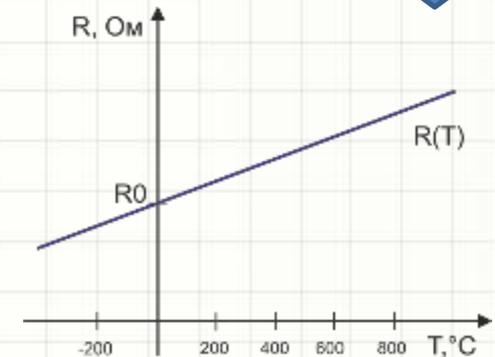
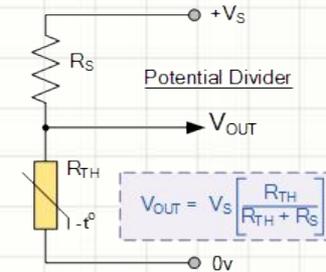
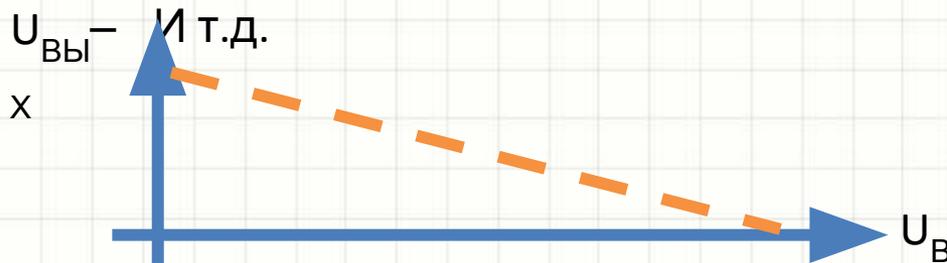
Инвертирующий и неинвертирующий каскады

- Пусть, изменяющийся сигнал, который мы хотим усилить – это напряжение U_2 , а U_1 это какое-то постоянное напряжение (константа)
- При $U_1 = 0$ мы имеем обычный инвертирующий усилитель с такой характеристикой, выходящей из начала координат
- При $U_1 > 0$ характеристика **смещается вверх**, при $U_1 < 0$ – вниз на величину $U_1 \cdot (1+R1/R2)$



Инвертирующий и неинвертирующий каскады

- Мы получили инвертирующий и неинвертирующий усилители со смещением
- Усилитель со смещением нужен, чтобы:
 - Подогнать линейную характеристику датчика «напряжение от (к примеру) температуры» так, чтобы один разряд АЦП соответствовал 1-му градусу, а 0 с АЦП – нулю градусов Цельсия
 - Использовать инвертирующий усилитель для работы с положительными входными сигналами и получением положительных выходных напряжений
 - Настроить точный прибор, убрав смещение характеристики от нуля

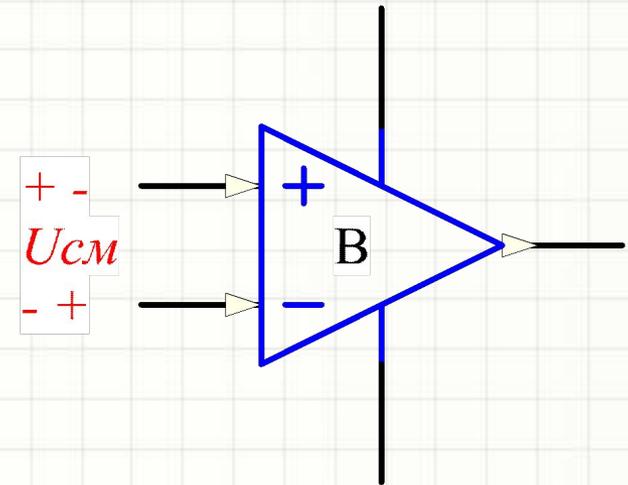


Идеальные и неидеальные ОУ

- Чем реальные ОУ отличаются от идеальных?
Нарушением всех своих правил:
 - Токи входов ОУ не равны нулю. У самых плохих ОУ это наноамперы, у самых хороших - фемтоамперы
 - В полностью исправной схеме напряжения на входах не равны а составляют 10мкВ...10мВ
 - Коэффициент усиления ОУ конечен, но очень велик (порой более 1 000 000)
 - Коэффициент усиления ОУ зависит от частоты. Есть быстродействующие ОУ (на частоты порядка ГГц) и низкопотребляющие (10-100 кГц)
 - Выходной ток ОУ конечен и, как правило, невелик. Для обычных ОУ он составляет единицы и десятки мА

Идеальные и неидеальные ОУ

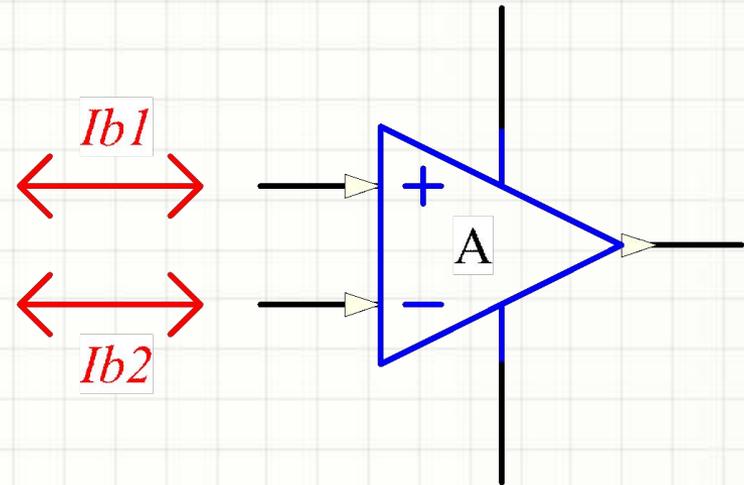
- Напряжение между входами ОУ называется напряжением смещения или Input Offset Voltage.
- Его полярность неизвестна. С точки зрения входов оно может быть как «положительным» так и «отрицательным»
- Указывается лишь максимальное значение в идеальных условиях и полном диапазоне рабочих температур
- Напряжение питания ОУ обычно задается в виде диапазона от минимального до максимального. Параметры ОУ зависят от напряжения питания.
- Приводится несколько таблиц для разных напряжений питания



Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Units
INPUT CHARACTERISTICS Offset Voltage	V_{os}	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$		1	6 7	mV mV

Идеальные и неидеальные ОУ

- Пусть, во входы ОУ текут токи I_{b1} и I_{b2} (от англ. «bias» - смещение)
- Разница этих токов по модулю, $|I_{b1} - I_{b2}|$ называется Input Offset Current. Он соответствует напряжению смещения по закону Ома
- Среднее арифметическое этих токов, $(I_{b1} + I_{b2}) / 2$, называется Input Bias Current



Input Bias Current	I_B	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$	4	60	pA
		$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$		100	pA
Input Offset Current	I_{OS}	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$	0.1	1,000	pA
		$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +125^{\circ}\text{C}$		30	pA
				50	pA
				500	pA

Идеальные и неидеальные ОУ

- Частотные характеристики ОУ описываются параметрами:
 - Gain Bandwidth Product (GBP) – частота, на которой собственный коэффициент усиления обращается в единицу.
Размерность – [Гц]
 - Slew Rate – максимальная скорость изменения напряжения на выходе ОУ.
Размерность – [В/с]

DYNAMIC PERFORMANCE

Slew Rate

Settling Time

Gain Bandwidth Product

SR

t_s

GBP

$R_L = 100 \text{ k}\Omega$

To 0.1% (1 V Step)

0.4

0.75

5

980

V/ μ s

μ s

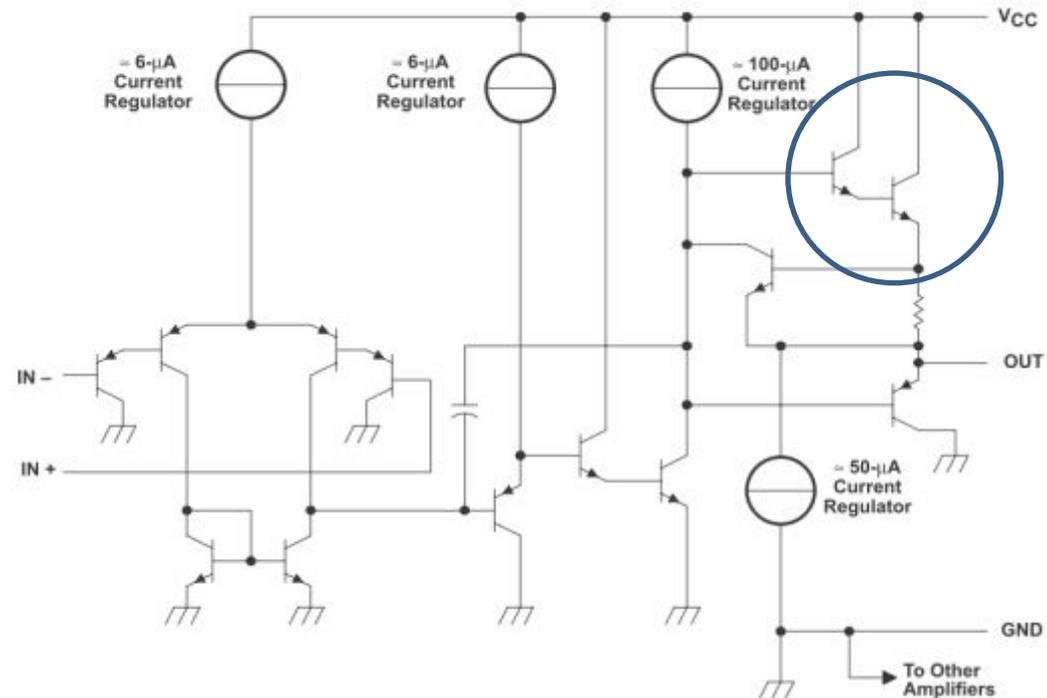
kHz

Идеальные и неидеальные

ОУ

- Очевидно, выходное напряжение ОУ не может выходить за пределы $-U_{п} \dots +U_{п}$
- А может ли быть равно напряжению питания?
 - Если выходное напряжение может вплотную приближаться к напряжениям питания (на несколько мВ или десятков мВ), операционный усилитель называется ОУ с выходом Rail-to-Rail (Rail-to-Rail Output OpAmp, RRO)
 - Если диапазон выходных напряжение ОУ уже диапазона $-U_{п} \dots +U_{п}$ на 1-3 В с каждой стороны, это

schematic (each amplifier)



V _{OH}	High-level output voltage	R _L = 2 kΩ	25°C	V _{CC} - 1.5	V _{CC} - 1.5			V		
		R _L = 10 kΩ	25°C			V _{CC} - 1.5				
		V _{CC} = MAX, R _L = 2 kΩ	Full range	26	26	22				
		V _{CC} = MAX, R _L ≥ 10 kΩ	Full range	27	28	27	28		23	24
V _{OL}	Low-level output voltage	R _L ≤ 10 kΩ	Full range	5		20	5		20	mV

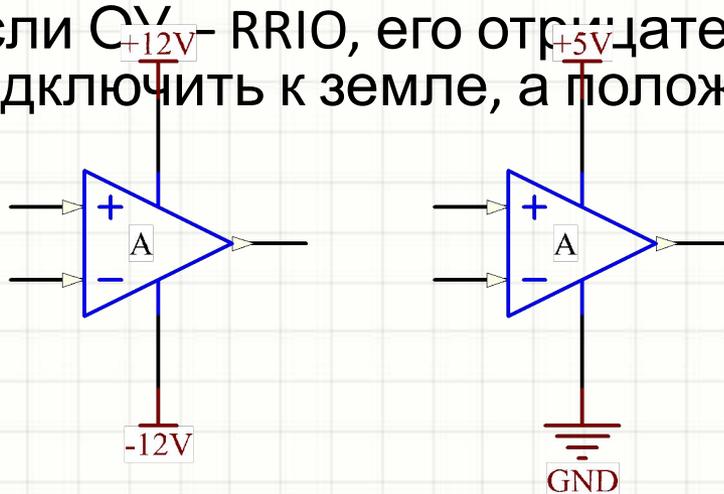
Идеальные и неидеальные

ОУ

- То же касается входных напряжений. В усилительной схеме $U^{(+)} = U^{(-)}$ (с «ошибкой» в виде напряжения смещения), но оба этих напряжения могут меняться в разных пределах:
 - Если входные напряжения могут быть равны напряжениям питания, операционный усилитель называется ОУ с входом Rail-to-Rail (Rail-to-Rail Input OpAmp, RRI)
 - Если диапазон выходных напряжений ОУ уже диапазона $-U_{\text{п}} \dots +U_{\text{п}}$ на 1-3 В с каждой стороны, это обычный ОУ (not RRI)
 - Диапазон входных напряжений называется Common-mode Input Voltage Range
- **Лучшие ОУ работают в полном диапазоне* напряжений питания и по входу, и по выходу, это ОУ типа RRIO**
- Обычно диапазон напряжений питания RRIO-микросхем уже и далек от $(-15 \dots +15)$ В, типичных для not-RRIO микросхем

Напряжения питания ОУ

- Цифровые схемы питаются небольшими положительными напряжениями: +5В, +3.3В, +12В (старые)
- Чтобы обеспечить напряжения для АЦП в диапазоне, например, 0-5В*, ОУ придется либо питать напряжениями -8/+8 В ... +12/+12В, если он не RRIO
- Если ОУ – RRIO, его отрицательный вход питания можно подключить к земле, а положительный – к источнику +5В.

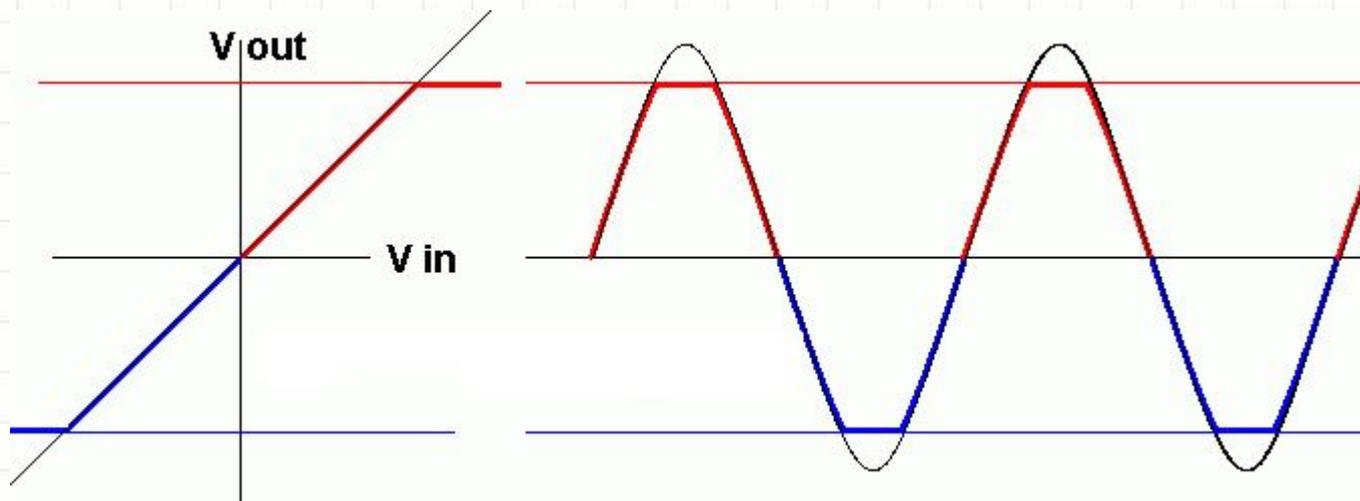


Чаще всего в современной технике используют именно RRIO!

* примечание – от нуля до VCC ОУ все равно не работает, нужен запас хотя бы в 50-100 мВ от обоих «рейлов» питания

Насыщение ОУ

- Если в схеме от ОУ требуется выдать напряжение за пределами возможного, он переходит в **режим насыщения**:
 - Напряжение на выходе оказывается равным $(+U_{\text{п}})$ / $-U_{\text{п}}$ для RRO либо $+(U_{\text{п}} - 1...3\text{В})$ / $-(U_{\text{п}} - 1...3\text{В})$ для обычного ОУ
 - ОУ перестает реагировать на малые изменения сигнала
 - ОУ возвращается в нормальный усилительный режим с некоторой задержкой («saturation recovery time»)
 - Правило равенства напряжений на входах больше не работает

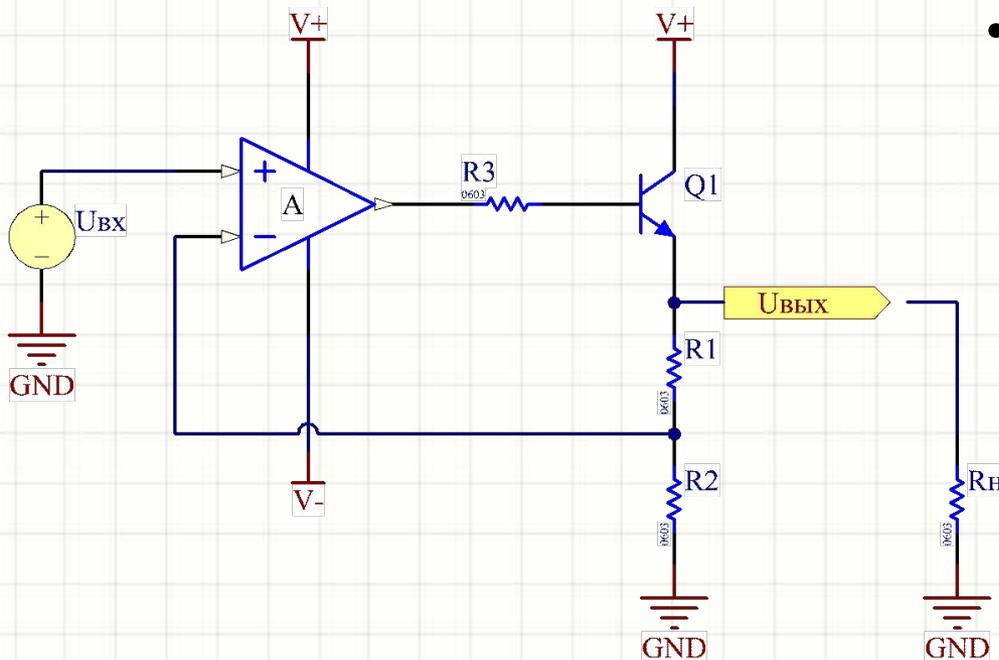


Применение ОУ

- На ОУ строят:
 - Усилители сигналов
 - Преобразователи ток-напряжение
 - Компараторы (устройства сравнения напряжений)
 - Генераторы сигналов
 - Активные фильтры

Буферизованный ОУ

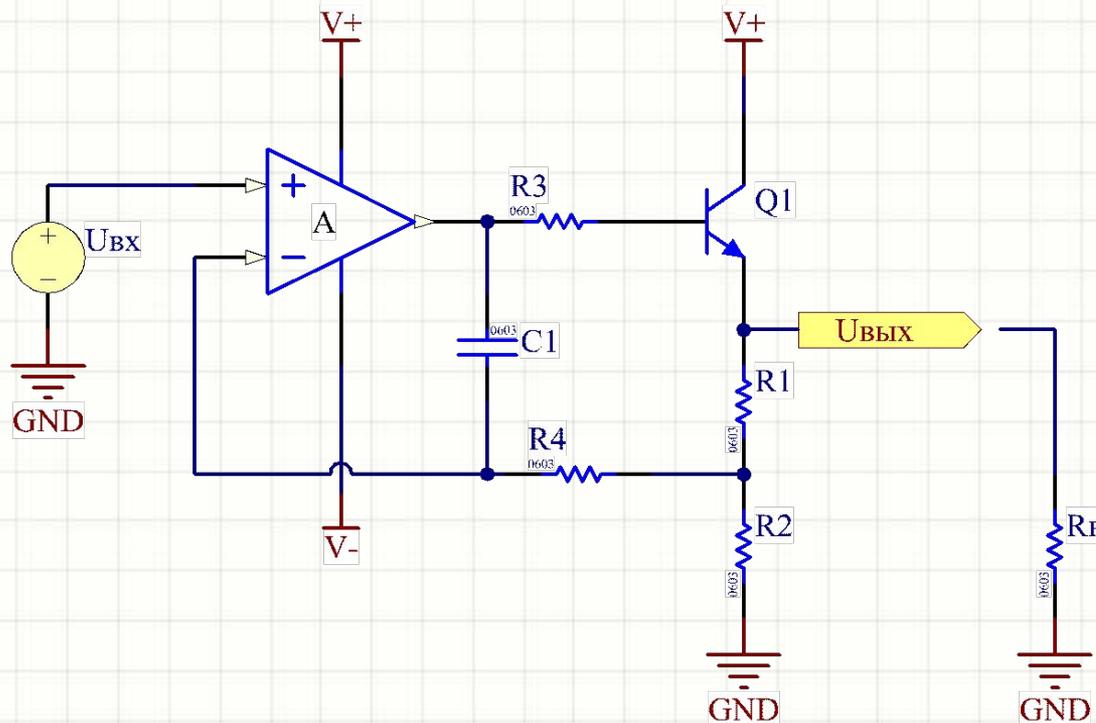
- Со схемами инвертирующего и неинвертирующего усилителя мы уже знакомы
- Если выходного тока ОУ недостаточно, его можно буферизовать транзистором. Например, так:



- Чем эта схема отличается от обычного каскада?
 - Выходное напряжение каскада меньше, чем у небуферизованного минимум на 0.6-0.7В
 - Быстродействие может быть снижено «медленным» мощным транзистором
 - Схема стабильна только при некотором ненулевом токе эмиттера $Q1$!

Буферизованный ОУ

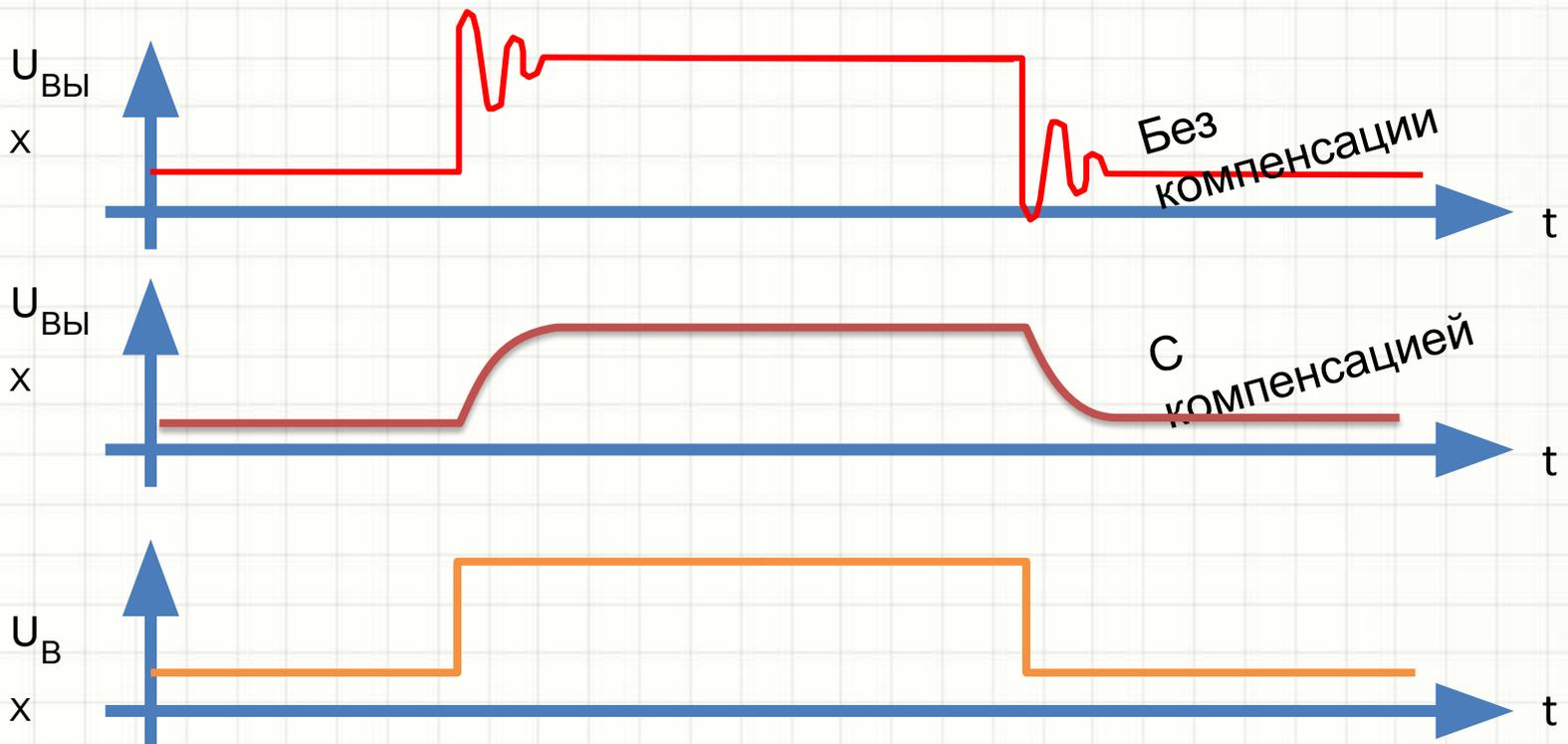
- Если ток нагрузки R_H слишком мал, минимальный ток эмиттера можно обеспечить за счет $R1$ и $R2$



- Если быстродействие ОУ существенно выше, чем у транзистора, полюсу ОУ можно ограничить
- Самый простой способ это сделать – добавить RC-цепь
- Такой прием называется простейшим видом **компенсации каскада**

Компенсация

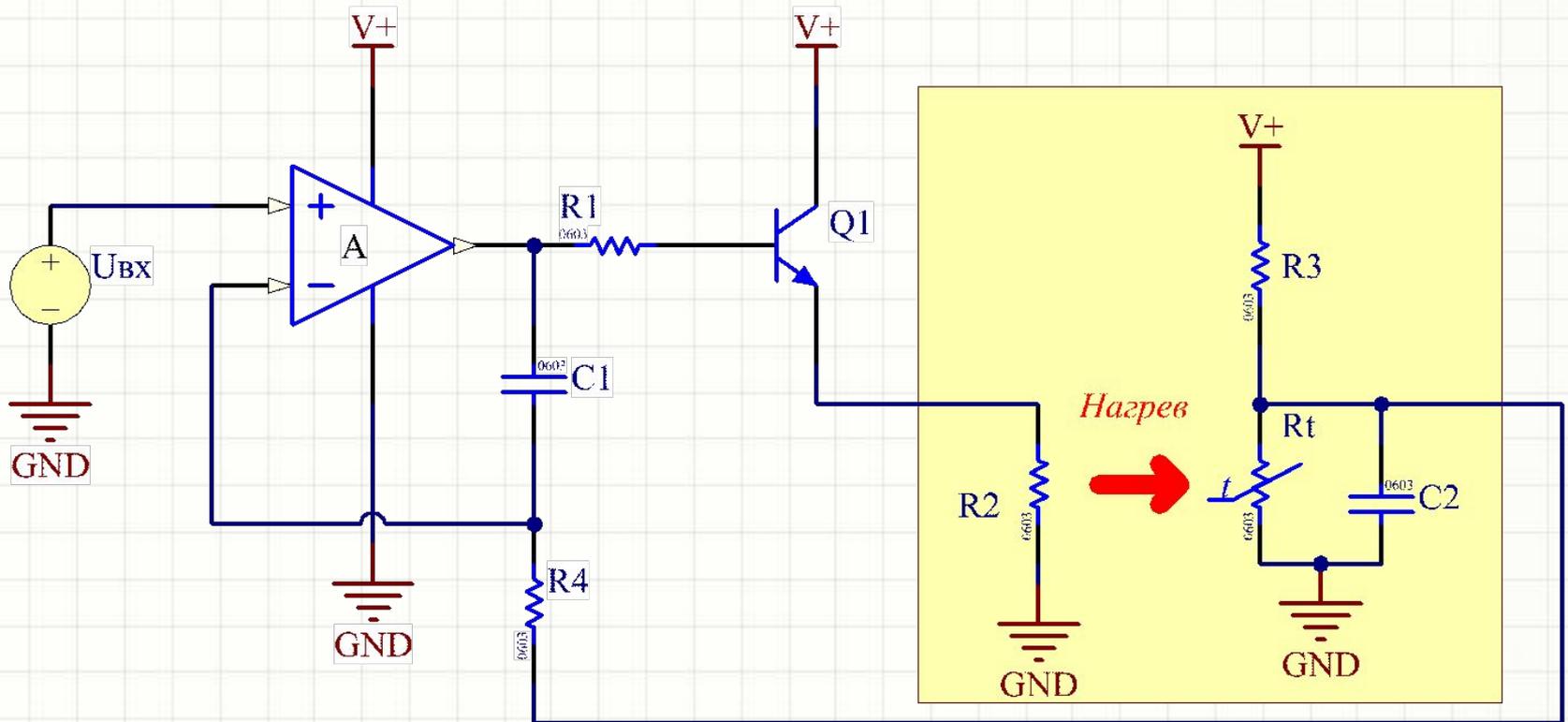
- Несколько слов о компенсации:
 - Цель – не допустить инверсии фазы сигнала ООС (отрицательной обратной связи) из-за цепей, которые ее формируют
 - Наличие конденсатора C_1 «обманывает» ОУ. После любого изменения напряжения на выходе ОУ он сразу «видит» реакцию на инверсном входе
 - Через некоторое время (порядка $R_4 \cdot C_1$) при постоянных входном напряжении и выходном токе схемы, эффекты, связанные с наличием цепи компенсации перестают быть заметны



ОУ как универсальный регулятор

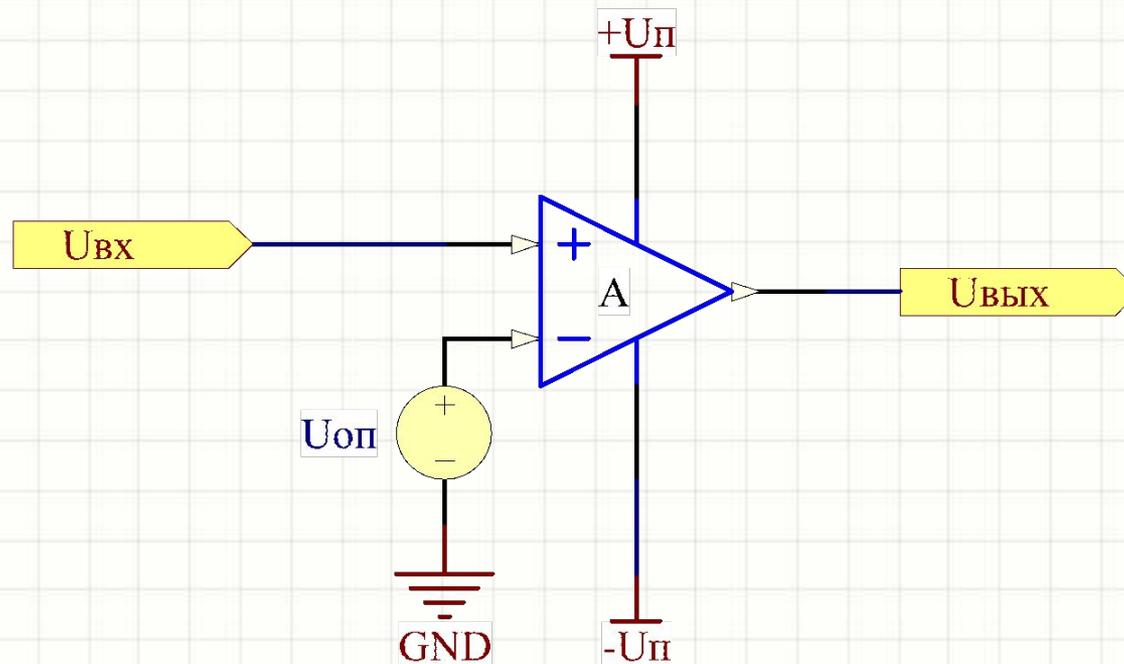
Если вы можете превратить напряжение в некоторую физическую величину, и измерить эту величину, превратив ее в напряжение, на ОУ можно построить регулятор этой физической величины!

- Например, на ОУ можно сделать маломощный но точный и малошумящий регулятор температуры:



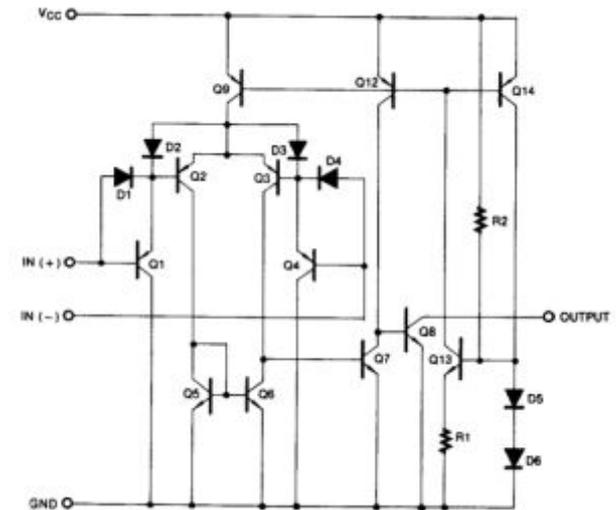
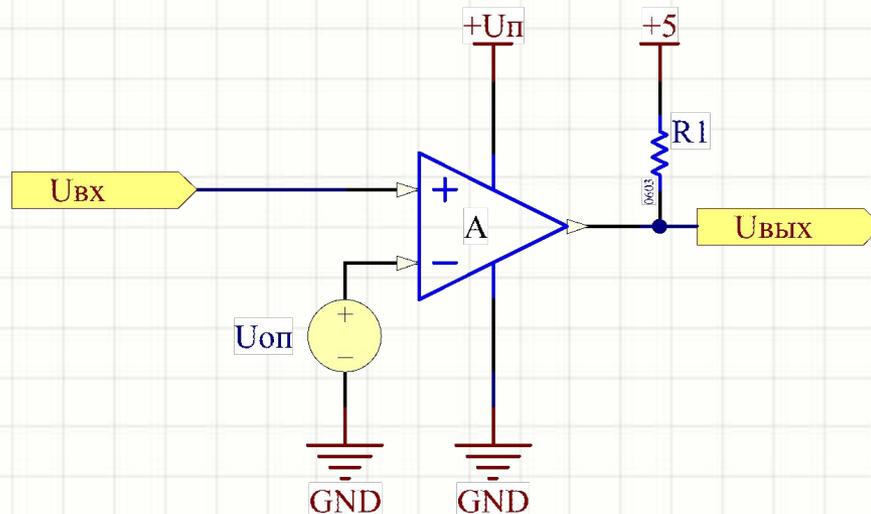
Аналоговый компаратор

- В этой схеме ОУ постоянно находится в режиме насыщения
- Выходной сигнал $+U_{\text{П}}$ означает, что $U_{\text{ВХ}} > U_{\text{ОП}}$,
- $-U_{\text{П}}$, означает, что $U_{\text{ВХ}} < U_{\text{ОП}}$:



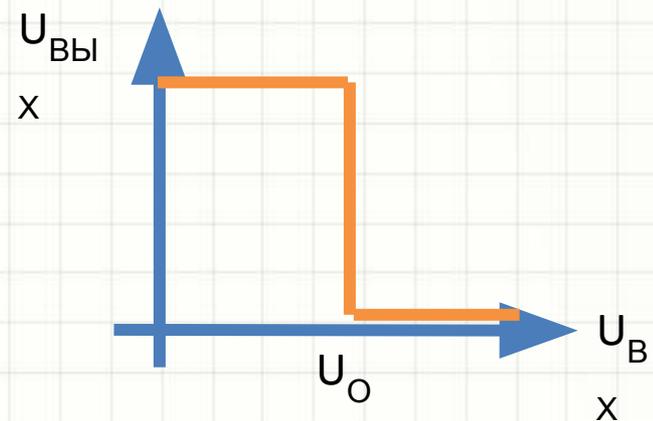
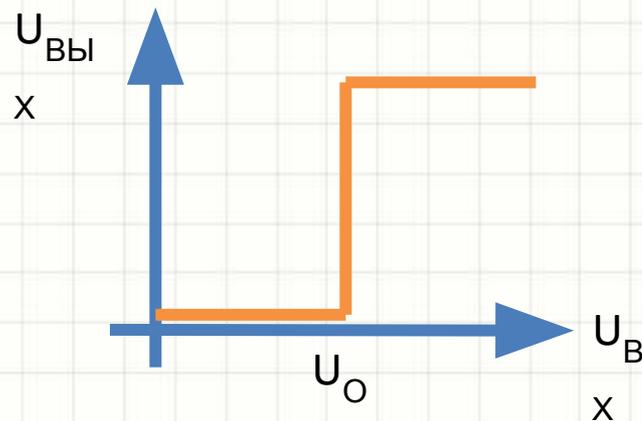
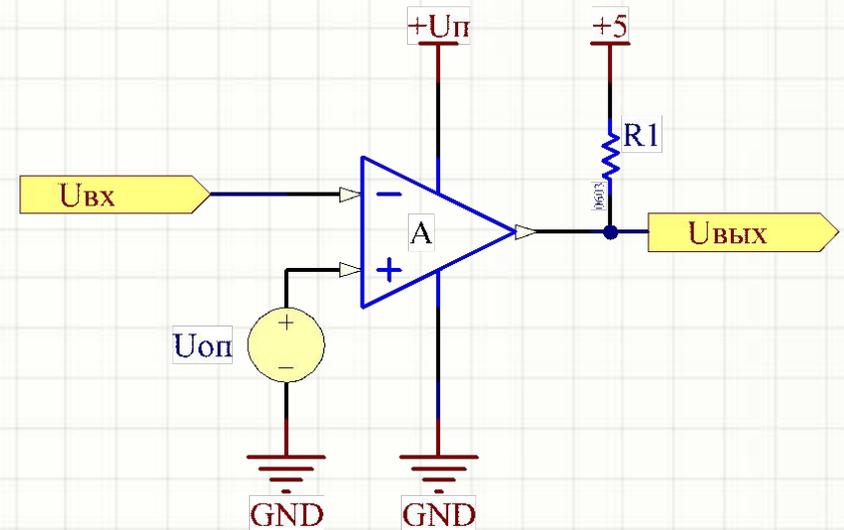
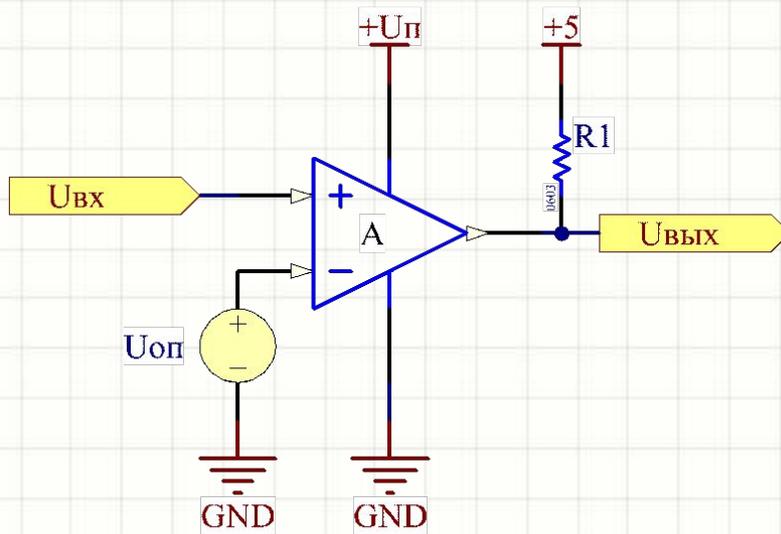
Аналоговый компаратор

- Для реализации таких схем существуют специальные микросхемы компараторы, имеющие **выход с открытым коллектором** (на выходе – транзисторный ключ)
- Они «не умеют» выдавать на выходе напряжение
- Выходной транзисторных ключ либо открыт, либо закрыт
- При наличии резистора-подтяжки выходной сигнал ИМС-компаратора является цифровым
- «Резистор подтяжки» может быть подключен не к $+U_{П}$, а к другому напряжению, например, 5В, для получения ТТЛ-совместимого цифрового сигнала:



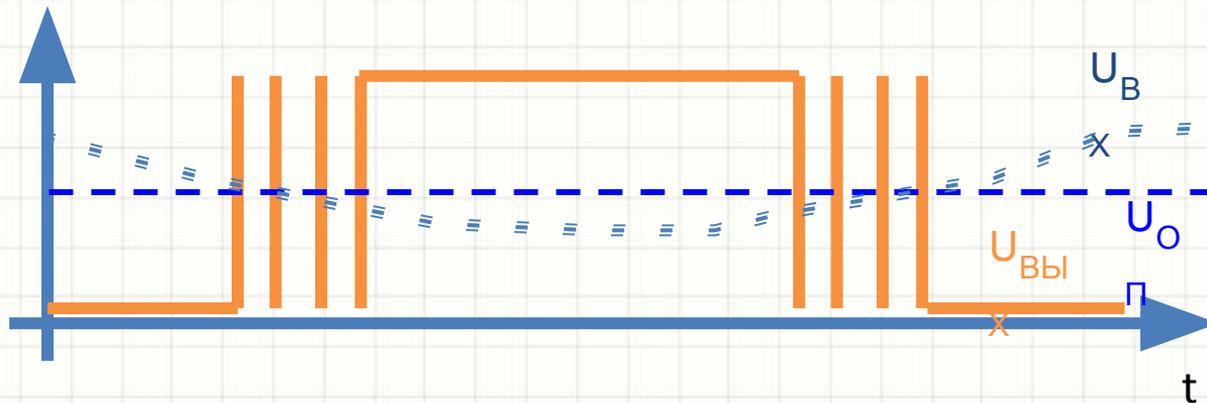
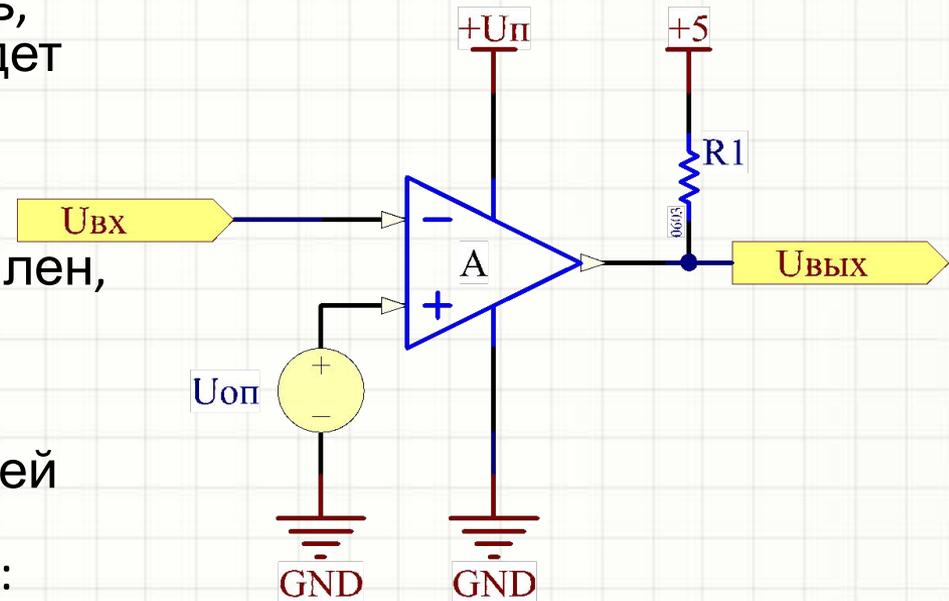
Аналоговый компаратор

- Входы компаратора (или ОУ в схеме компаратора) можно менять местами:



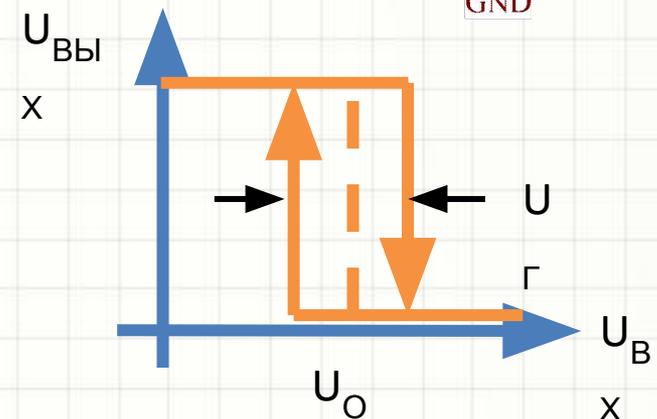
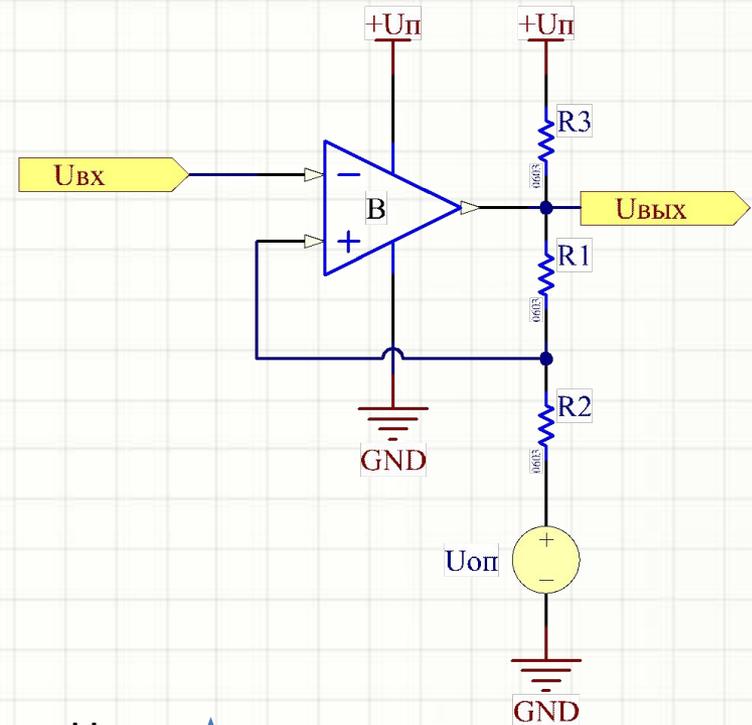
Аналоговый компаратор

- Если ничего не предпринять, аналоговый компаратор будет реагировать на малейшие изменения входного напряжения в районе $U_{оп}$
- Если входной сигнал зашумлен, всякое пересечение его значением порога срабатывания компаратора будет сопровождаться серией логических переходов на выходе схемы компаратора:



Аналоговый компаратор

- Снизить «чувствительность» компаратора к малым изменениям входного сигнала в районе $U_{оп}$ можно добавив **положительную обратную связь** в схему сравнения
- $R3 \ll (R1+R2)$, $R3$ можно пренебречь, считая в расчетах, что его номинал - нулевой
- То, с чем сама микросхема-компаратор сравнивает $U_{вх}$, начинает зависеть от текущего состояния выхода компаратора:
 - Если на выходе $+U_{п}$, для перехода выхода в GND нужно напряжение, превышающее $U_{оп}$
 - В противном случае требуется входное напряжение, несколько меньшее, чем $U_{оп}$
- На характеристике возникает **гистерезис**



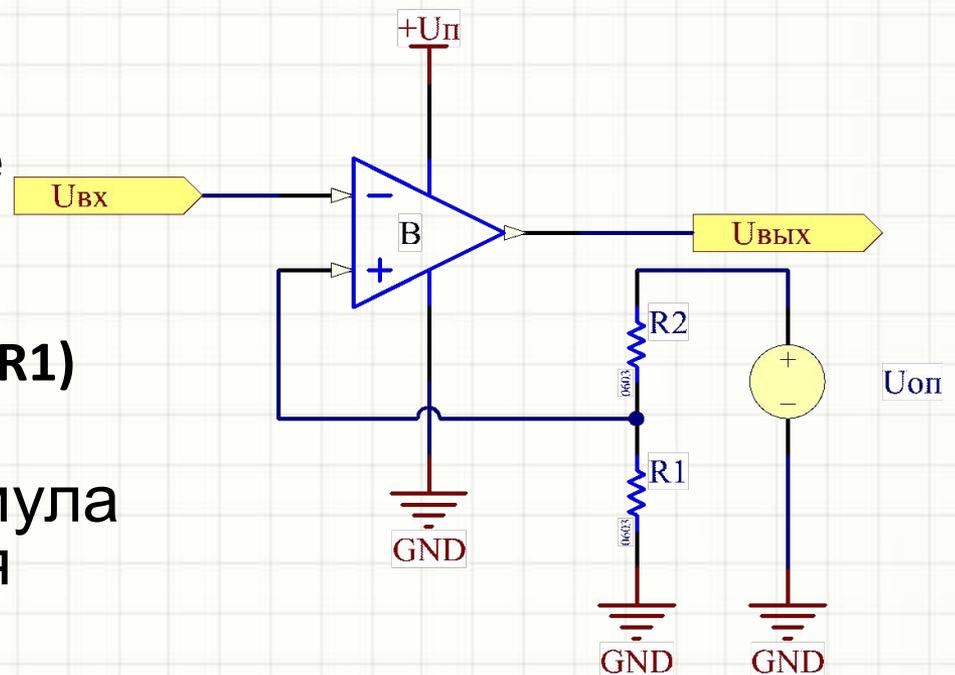
Аналоговый компаратор

- Как зависит глубина гистерезиса от R1 и R2?
- Рассмотрим упрощенную схему для случая, когда компаратор будет переключаться из GND в $+U_{\text{П}}$
- В исходном состоянии на его выходе нулевое напряжение, следовательно, эквивалентная схема для этой ситуации такова:

- Рассчитаем порог переключения компаратора в другое состояние:

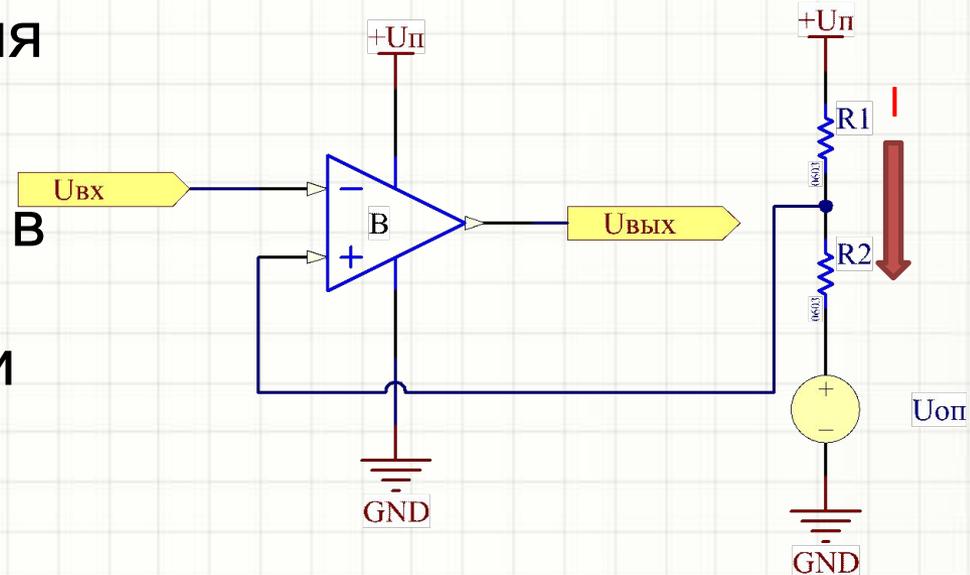
$$U_{\text{ВХ}} \uparrow = U_{\text{ОП}} \cdot R1 / (R2 + R1)$$

- Фактически, это формула делителя напряжения



Аналоговый компаратор

- Рассмотрим упрощенную схему для случая, когда компаратор будет переключаться из $+U_{\Pi}$ в GND
- В исходном состоянии на его выходе $+U_{\Pi}$, следовательно, эквивалентная схема для этой ситуации
- ~~такова.~~ Рассчитаем порог переключения компаратора в другое состояние.
- Ток $I = (U_{\Pi} - U_{ОП}) / (R1+R2)$



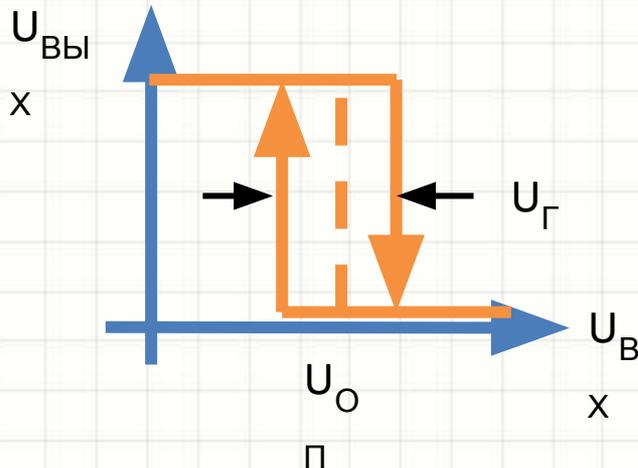
$$U_{ВХ\downarrow} = U_{ОП} + I \cdot R2 = U_{ОП} + R2 \cdot (U_{\Pi} - U_{ОП}) / (R1+R2)$$

Аналоговый компаратор

- Рассчитаем разность $U_{ВХ\uparrow}$ и $U_{ВХ\downarrow}$:

$$U_{\Gamma} = U_{ВХ\uparrow} - U_{ВХ\downarrow} =$$
$$\cancel{U_{оп}} + R2 \cdot (U_{п} - \cancel{U_{оп}}) / (R1+R2) - \cancel{U_{оп}} \cdot R1 / (R1+R2) =$$
$$U_{п} \cdot R2 / (R1+R2)$$

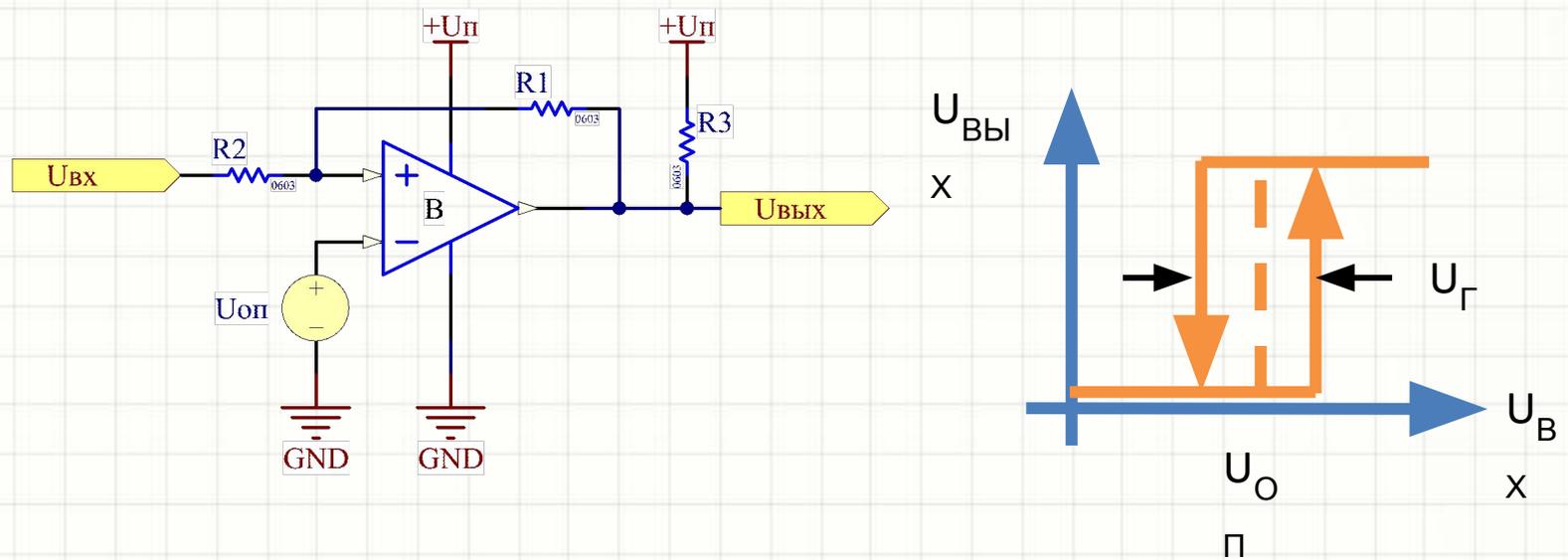
$$U_{\Gamma} / U_{п} = R2 / (R1+R2)$$



- Чем меньше сопротивления $R2$, тем глубже гистерезис
- При $R1 \ll R2$ устройство полностью теряет работоспособность

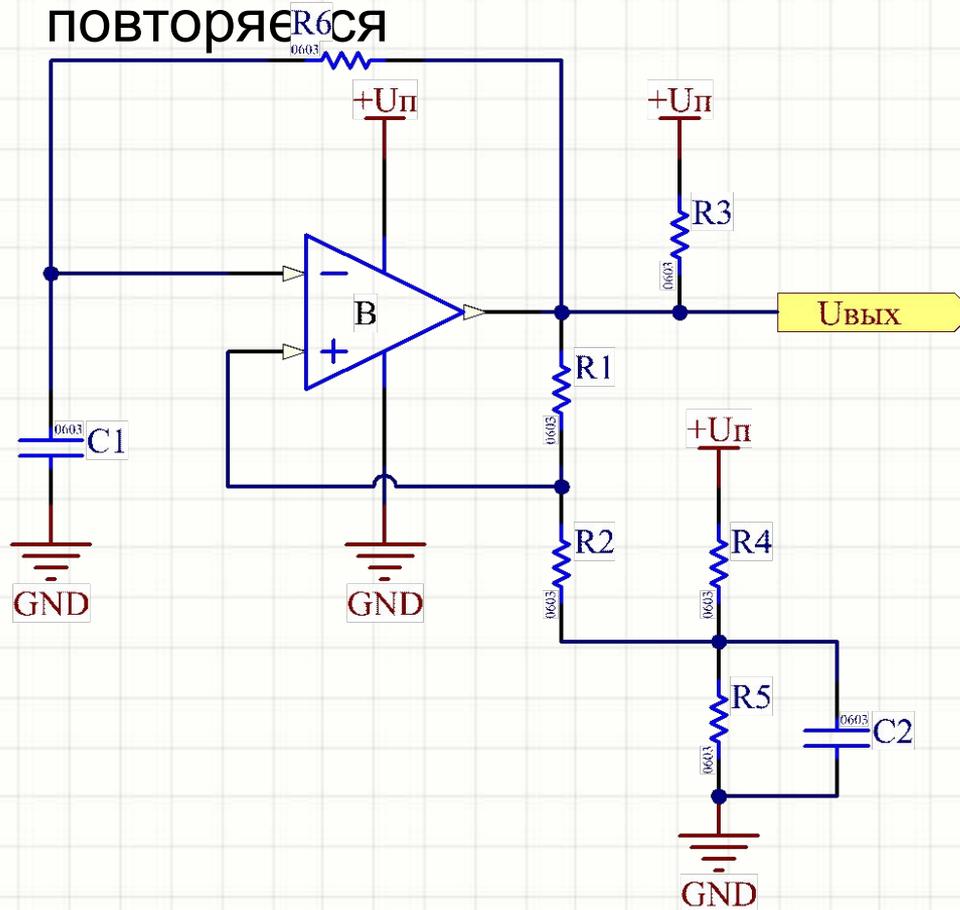
Аналоговый компаратор

- Чаще всего ширину петли гистерезиса для компаратора считают в процентах от U_{Π}
- Существует и схема компаратора с другой полярностью включения микросхемы
- Ее недостаток – низкое **входное** сопротивление
- Достоинство – возможность использовать источник $U_{оп}$ с высоким **выходным** сопротивлением



Мультивибратор на компараторе

- Мультивибратор – схема, генерирующая прямоугольные импульсы
- U_{\uparrow} на выходе компаратора заряжает $C1$ до напряжения U_{\uparrow} , затем компаратор переходит в состояние 0 вольт на выходе, $C1$ разряжает до уровня U_{\downarrow} , затем цикл работы повторяется

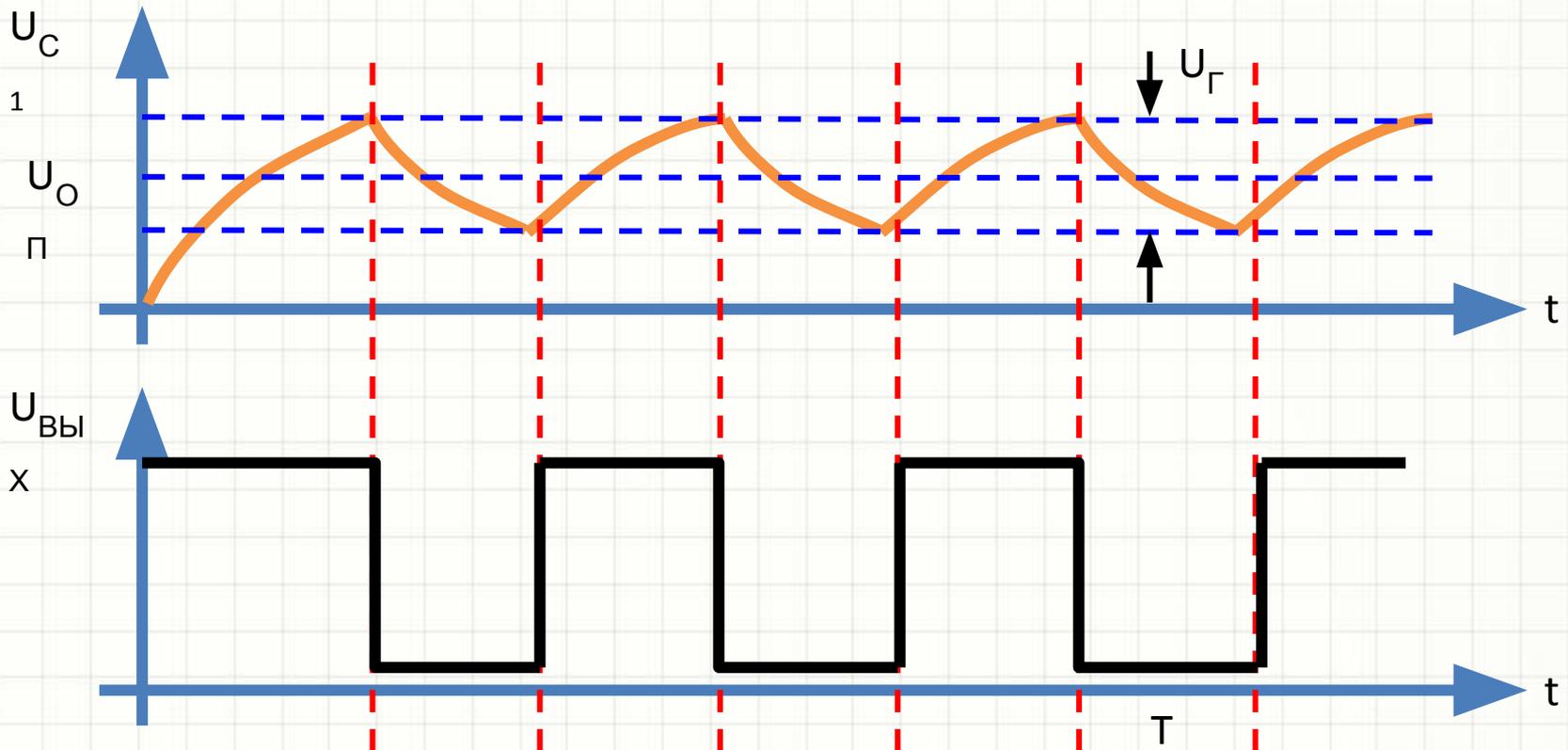


- $R3 \ll R6$, чтобы он не вносил большого вклада в ток перезарядки $C1$
- $R3 \ll (R1+R2)$, чтобы он не влиял на гистерезис
- $(R4+R5) \ll (R1+R2)$, чтобы делитель $R4,5$ можно было считать хорошим источником напряжения, не зависящим от тока цепи ОС компаратора
- $C2$ вместе с $R4,5$ создает ФНЧ, снижающий уровень шумов в $U_{оп}$ компаратора

Мультивибратор на компараторе

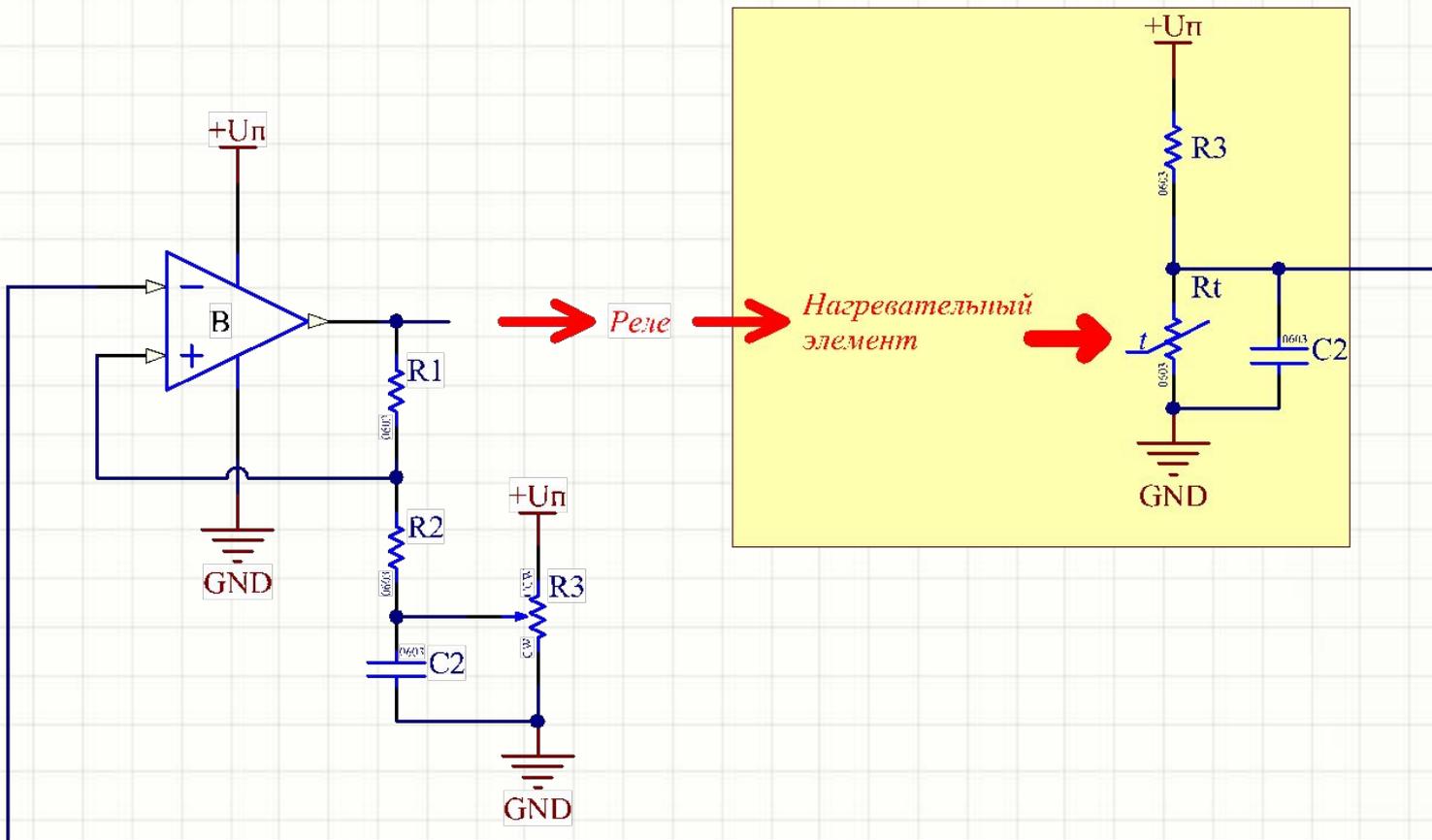
- Период импульсов зависит как от постоянной времени RC-цепи, так и от глубины гистерезиса:

$$T = 2 \cdot R_6 \cdot C_1 \cdot \ln \left(1 + \frac{2 \cdot R_2}{R_1} \right)$$



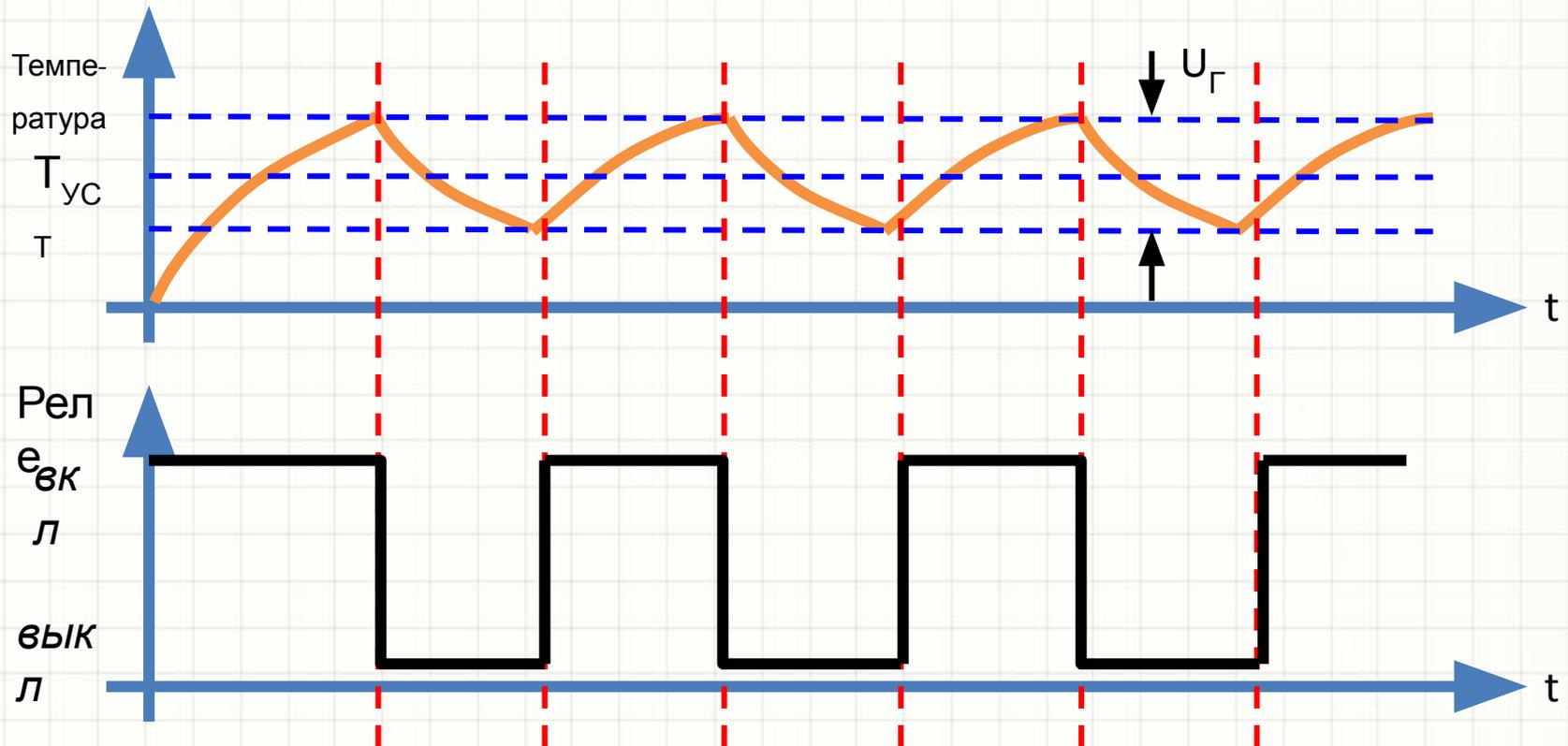
Термостат

- Термостат – устройство, которое включает и выключает нагревательный элемент, балансируя температуру в районе требуемой
- Схемотехника термостата идентична схеме мультивибратора, но вместо «инерционной» RC-цепи мы используем инерционность нагрева объекта:



Термостат

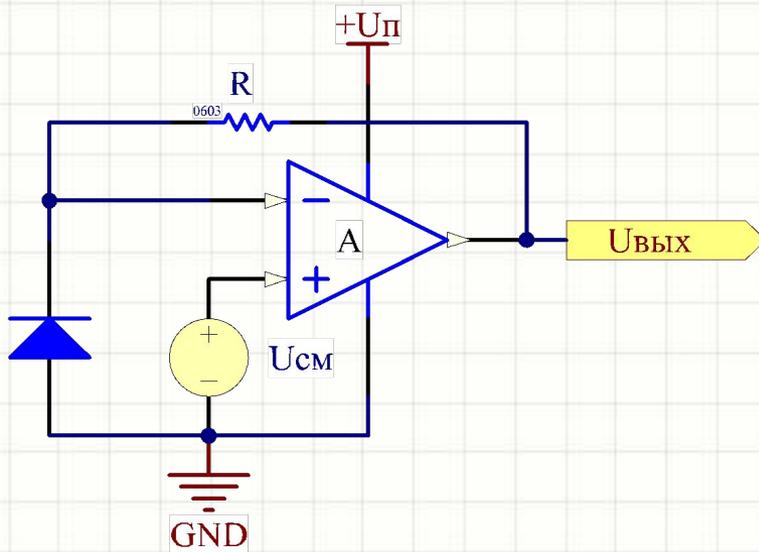
- Временная диаграмма аналогична, но вместо U_C мы получаем зависимость температуры от времени, а вместо $U_{\text{ВЫХ}}$ – временную диаграмму состояния реле, включающего нагревательный элемент
- Желаемая температура $T_{\text{УСТ}}$ регулируется переменным резистором
- Глубину гистерезиса по температуре выбирают с учетом желаемой точности поддержания температуры, но так, чтобы реле не переключалось чаще пары раз в минуту



Драйвер фотодиода

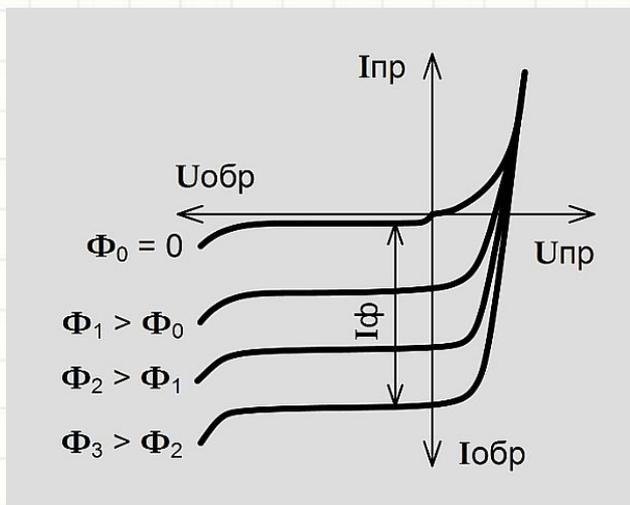
- Фотодиоды используются для регистрации светового потока, оптической мощности излучающих структур, измерения освещенности и т.п.
- Фотодиод в зависимости от падающего на него потока модулирует обратный ток при нулевом (фотогальванический режим) или ненулевом (фотодиодный режим) смещении
- ОУ применяются для преобразования этого тока малой величины в напряжение по линейному закону
- Схема предельно проста и состоит из ОУ, одного резистора и, собственно, фотодиода
- Помимо преобразования малого фототока в напряжение, пригодное для подачи на ПЦП, схема поддерживает на фотодиоде заданное напряжение обратного смещения (нулевое или ненулевое)

Драйвер фотодиода



- Источник $U_{см}$ – делитель на резисторах, малошумящий источник опорного напряжения и т.п.

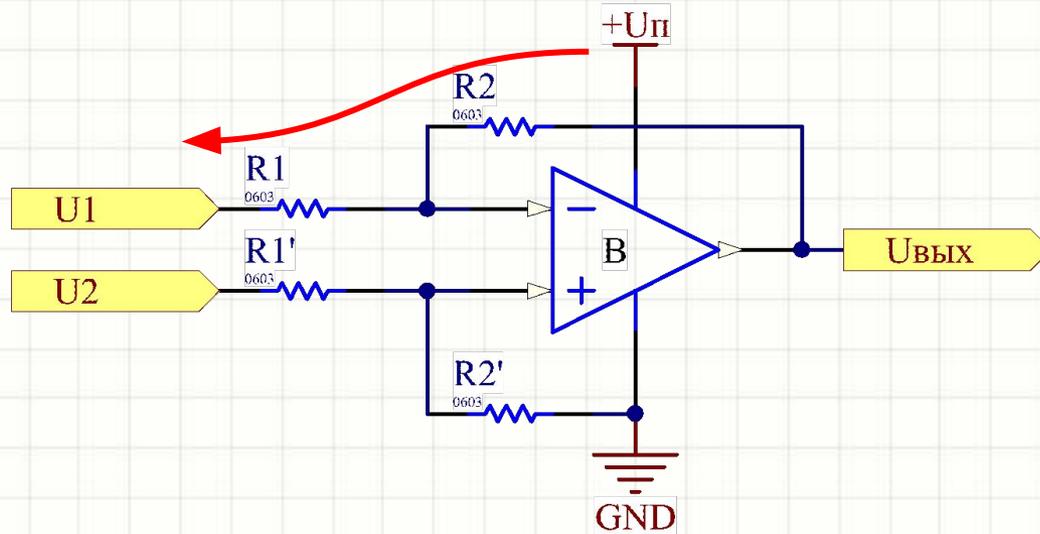
- $U_{вых} = I_{\phi} \cdot R$



Дифференциальный усилитель

- Схема, входным сигналом для которой является разность $U_2 - U_1$, а выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = (U_2 - U_1) \cdot K$
- Применяется для:
 - Измерения падения напряжения на двухполюснике, не подключенном одним из входов к земле
 - Организации невосприимчивой к помехам передачи сигналов по паре цепей (дифференциальной паре)

Дифференциальный усилитель



- Пусть, через цепь ООС течет ток I , тогда:

$$I = (U_{\text{ВЫХ}} - U_1) / (R1 + R2)$$
- Резисторы $R1'$ и $R2'$ (равны $R1$ и $R2$) создают делитель напряжения $U2$

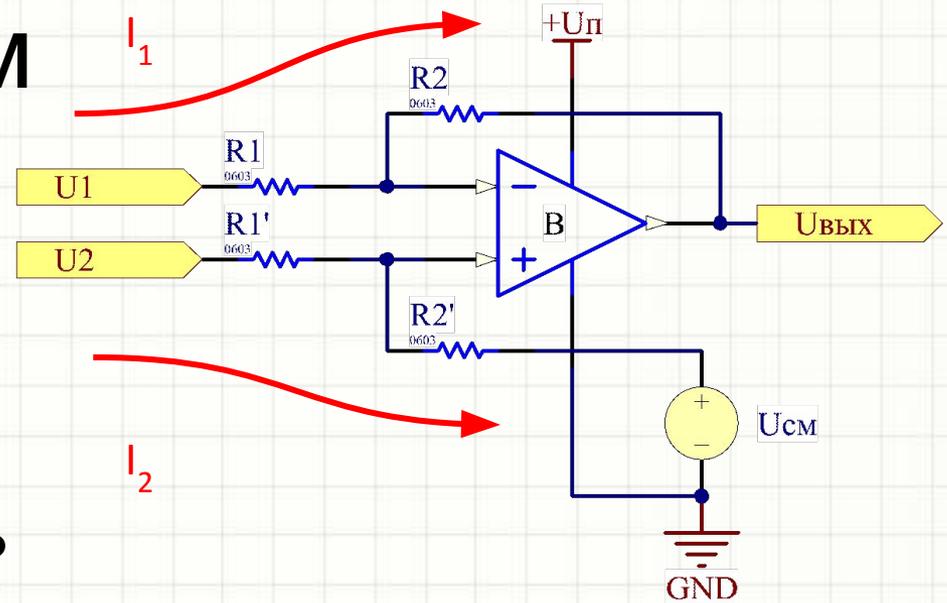
$$U_2 \frac{R2}{R1 + R2} = U_1 + R1 \cdot I = U_1 + R1 \cdot \frac{U_{\text{ВЫХ}} - U_1}{R1 + R2}, \text{ умножим на } (R1 + R2),$$

$$U_2 \cdot R2 = U_1 (R1 + R2) + R1 \cdot (U_{\text{ВЫХ}} - U_1) \qquad U_2 \cdot R2 = U_1 \cdot R2 + R1 \cdot U_{\text{ВЫХ}}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = (U_2 - U_1) \frac{R2}{R1}$$

Дифференциальный усилитель со смещением

- Как и обычные усилительные каскады, характеристику дифференциального усилителя можно смещать на некоторое напряжения так, что $U_{\text{ВЫХ}} = (U_2 - U_1) \cdot K + \text{const}$



$$U_1 - \frac{U_1 - U_{\text{ВЫХ}}}{R_1 + R_2} \cdot R_1 = U_2 - \frac{U_2 - U_{\text{СМ}}}{R_1 + R_2} \cdot R_1$$

$$U_1(R_1 + R_2) - (U_1 - U_{\text{ВЫХ}})R_1 = U_2(R_1 + R_2) - (U_2 - U_{\text{СМ}})R_1$$

Дифференциальный усилитель со смещением

$$\frac{U_1(R1 + R2)}{R1} - U_1 + U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_2(R1 + R2)}{R1} - U_2 + U_{\text{СМ}}$$

$$\frac{\cancel{U_1(R1 + R2)} - \cancel{U_1}R1}{R1} + U_{\text{ВЫХ}} = \frac{\cancel{U_2(R1 + R2)} - \cancel{U_2}R1}{R1} + U_{\text{СМ}}$$

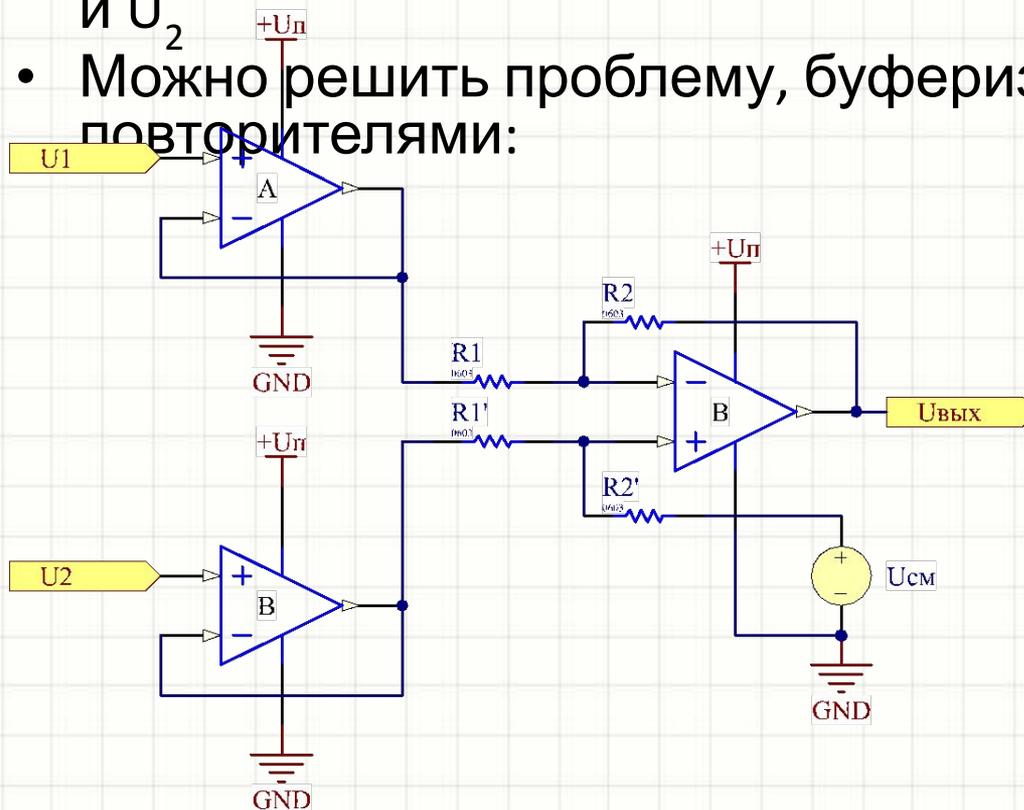
$$\frac{U_1R2}{R1} + U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_2R2}{R1} + U_{\text{СМ}}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = (U_2 - U_1) \frac{R2}{R1} + U_{\text{СМ}}$$

- Рассуждения требуют лишь понимания принципа действия ОУ, знания закона Ома и алгебры!

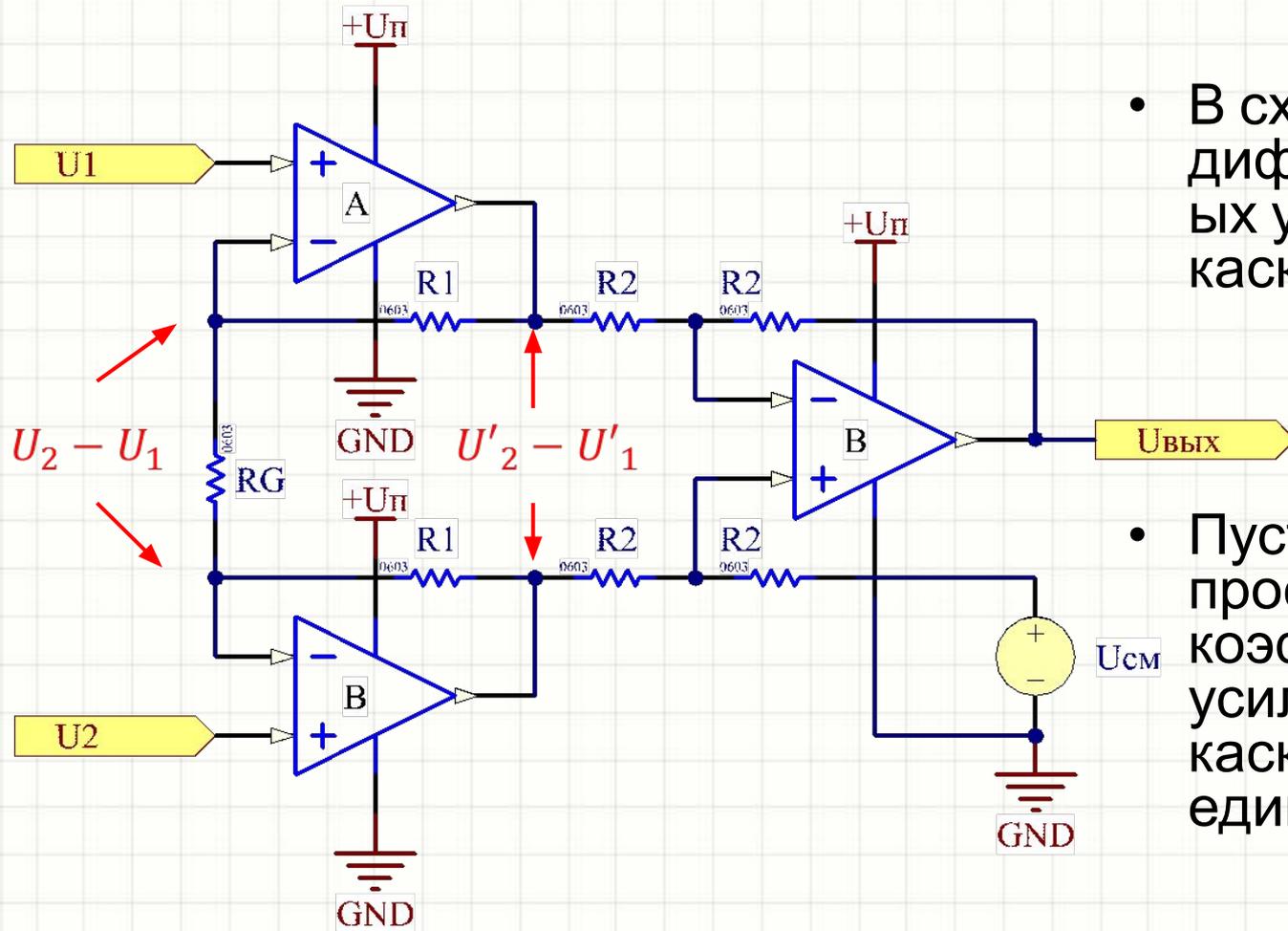
Инструментальный усилитель

- В чем фундаментальный недостаток дифференциального усилителя? В низком входном сопротивлении
- Иными словами, токи I_1 и I_2 , протекающие через цепи ОС и делитель $R1' - R2'$, отбираются от источника сигналов U_1 и U_2
- Можно решить проблему, буферизовав входы повторителями:



- Остается еще один недостаток: чтобы изменить коэффициент усиления, нужно менять сразу минимум ДВА одинаковых резистора
- Схема, лишенная такого недостатка – инструментальный усилитель (In-Amp)

Инструментальный усилитель



- В схеме есть два дифференциальных усилительных каскада

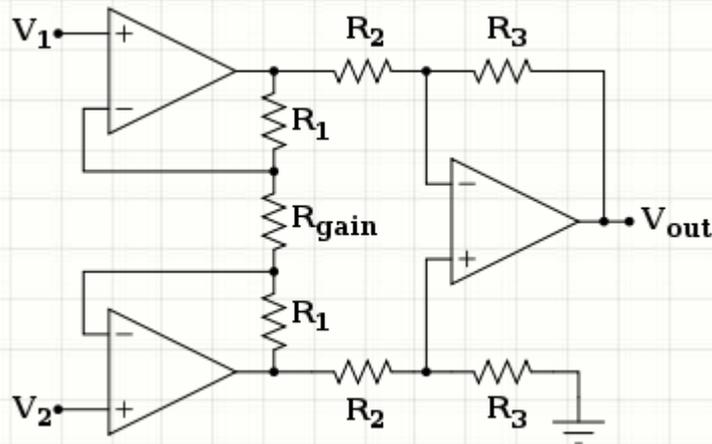
- Пусть для простоты коэффициент усиления второго каскада равен единице

- $I_{RG} = (U_2 - U_1) / R_G$
- $(U'_2 - U'_1) = I_{RG} \cdot (R_G + 2R_1)$

$$U_{\text{ВЫХ}} = (U_2 - U_1) \frac{R_G + 2R_1}{R_G} + U_{\text{СМ}}$$

Инструментальный усилитель

- Коэффициент усиления второго каскада может быть не равен единице. В этом случае общий коэффициент усиления домножается на коэффициент второго каскада



$$K_U = \left(1 + \frac{2 \cdot R_1}{R_{\text{gain}}}\right) \cdot \frac{R_3}{R_2}$$

- Значения номиналов «одинаковых» резисторов должны быть в точности равны
- Чтобы упростить схемы и обеспечить это условие, выпускаются интегральные микросхемы, представляющие собой готовые инструментальные усилители

Инструментальный усилитель

- Пример такой интегральной микросхемы – AD8220.

$$G = 1 + \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_G}$$

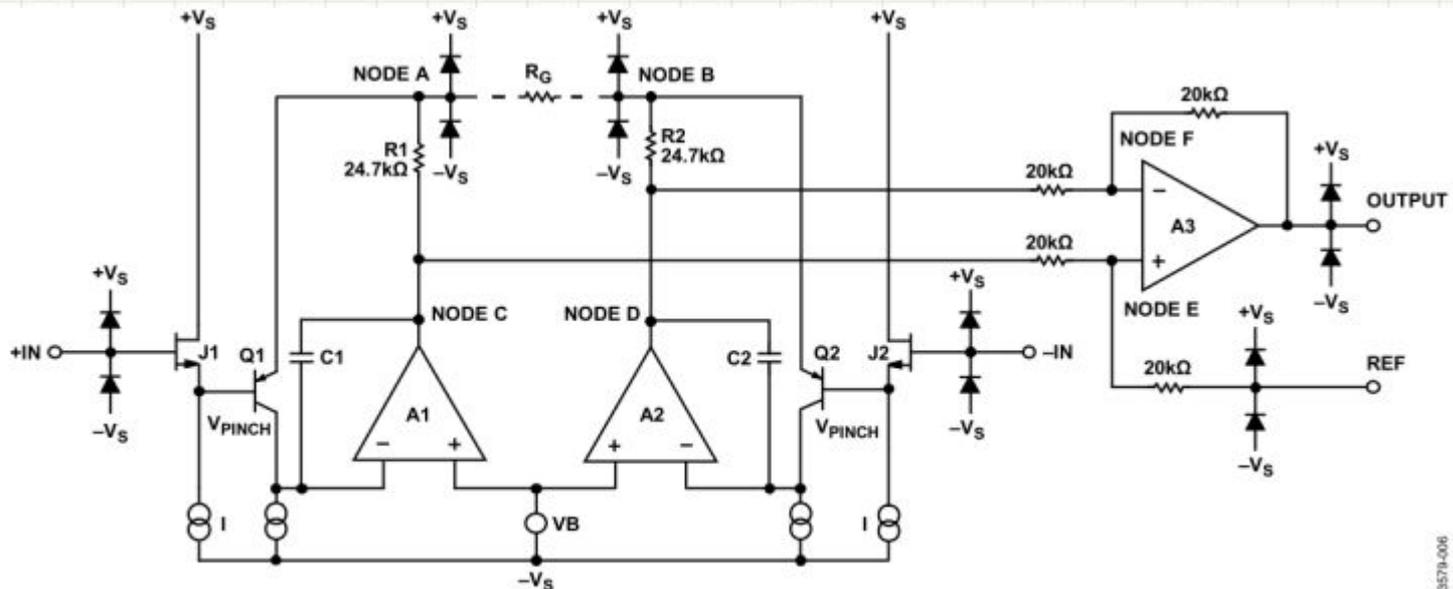
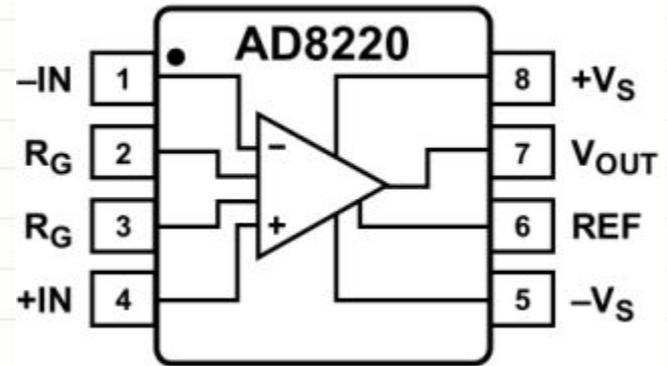
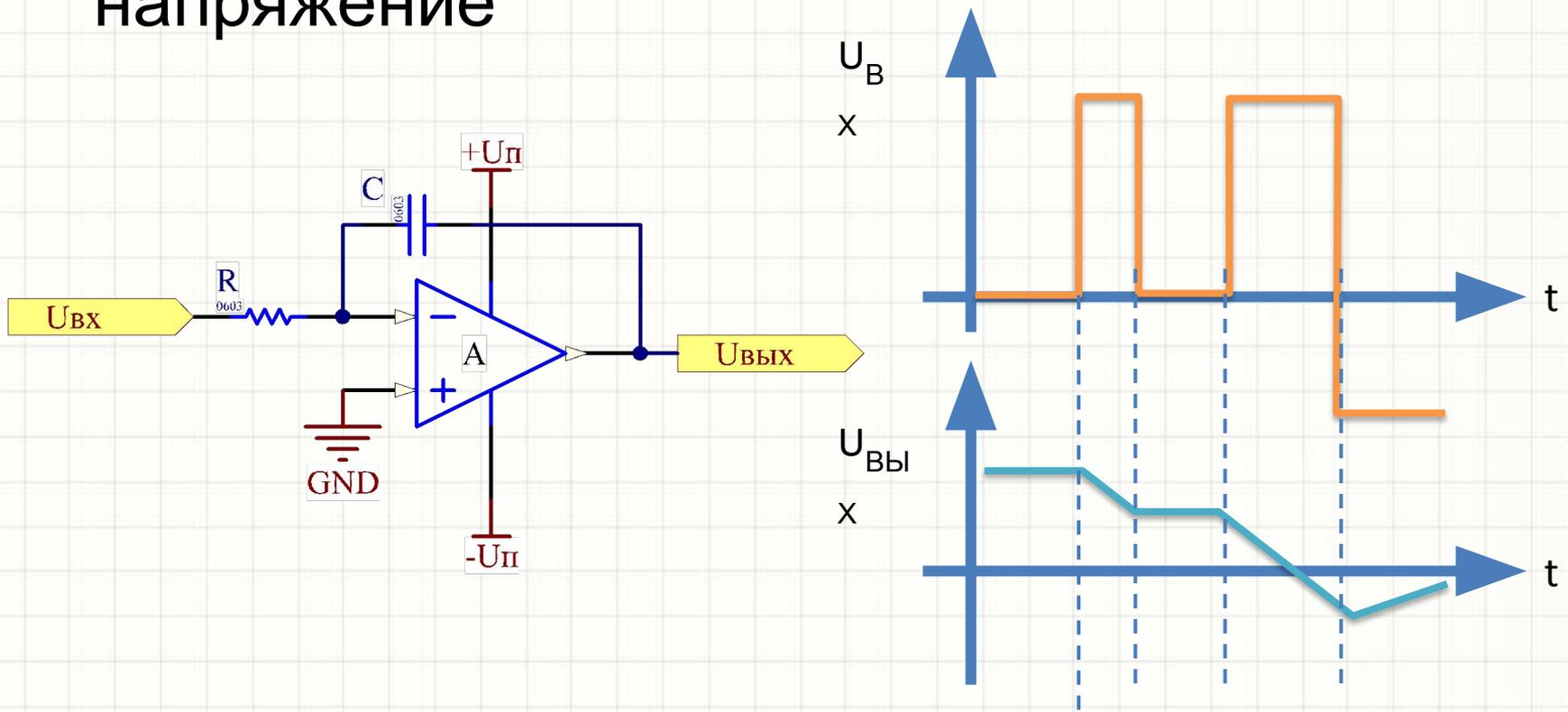


Figure 55. Simplified Schematic

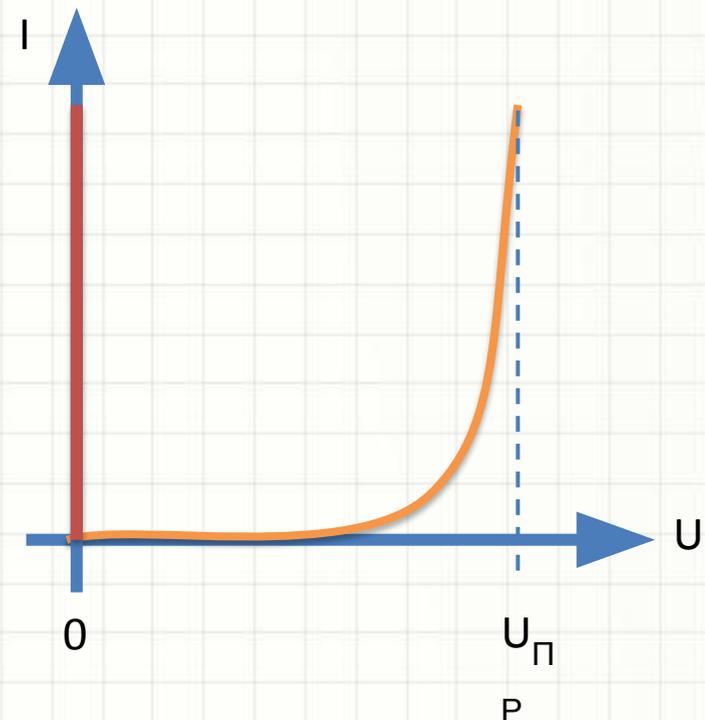
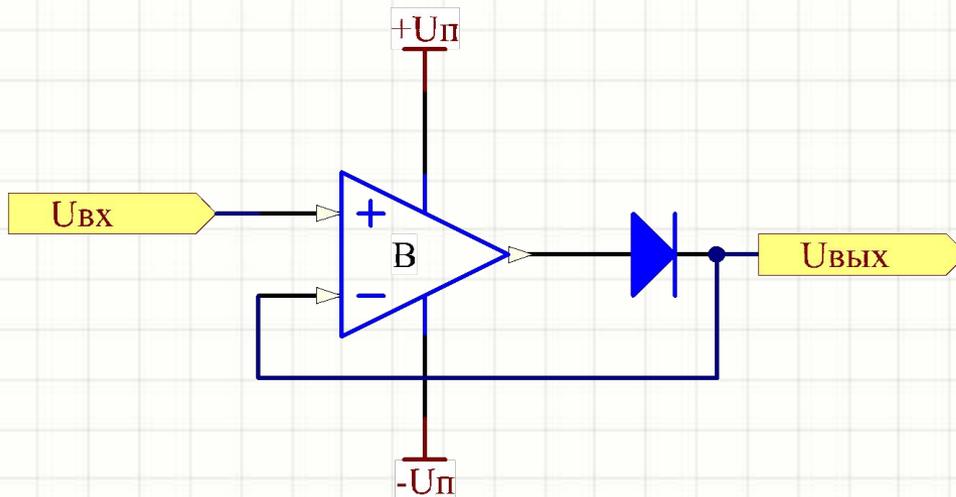
Интегратор на ОУ

- Интегратор – схема, выходное напряжение которой пропорционально площади под кривой, описывающей входное напряжение



Идеальный диод

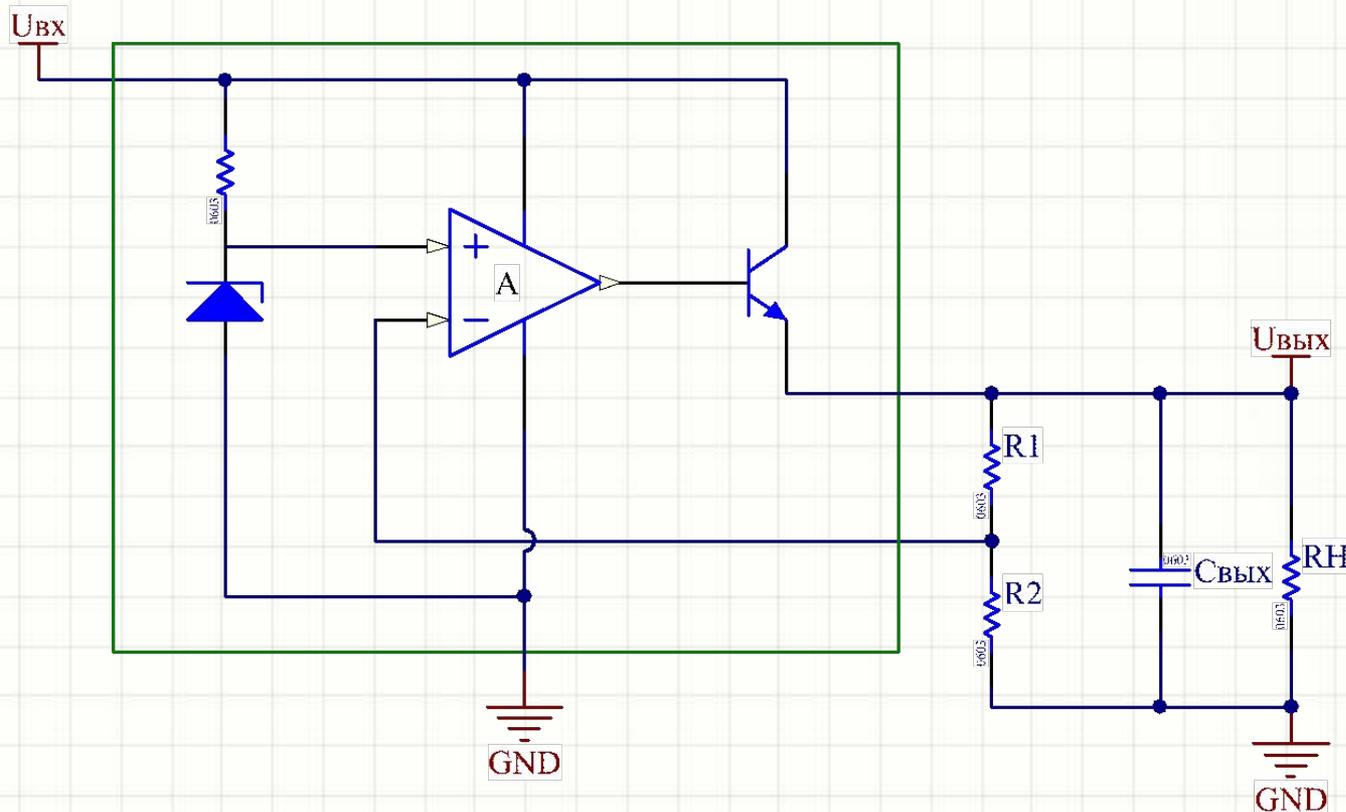
- Схема ведет себя как диод, у которого напряжение в прямом смещении равно нулю
- Необходимо помнить, что даже в случае RRIO ОУ выходное напряжение окажется не больше, чем ($U_{\text{П}} - 0,6 \dots 0,7\text{В}$)



Линейные регуляторы

напряжения

- LDO – микросхемы, предназначенные для понижения и стабилизации напряжения
- На них главным образом строятся линейные малошумящие источники питания
- По сути, линейный регулятор напряжения это буферизованный ОУ:



Линейные регуляторы напряжения

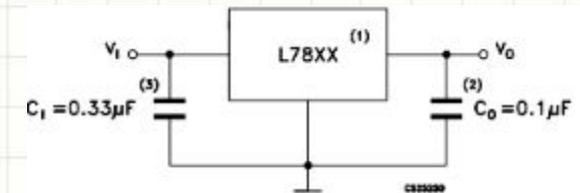
- Внутри регулятора содержится:
 - Источник опорного напряжения, выходное напряжение которого не зависит от пульсаций входного напряжения LDO (в простейшем случае - стабилитрон)
 - ОУ, следящий за равенством сигнала обратной связи и опорного напряжения
 - Выходной силовой транзистор
 - Схемы защиты от перегрева и короткого замыкания на выходе (на упрощенной схеме не показаны)
- Обычно то, что является внутренней «землей» LDO, не обязано быть «землей» на схеме, где используется LDO
- Выпускают LDO на фиксированные выходные напряжения и настраиваемые регуляторы

Линейные регуляторы напряжения

- Самые популярные регуляторы на фиксированное напряжение – серия 78xx, где xx – номинальное выходное напряжение

Подключение

Part numbers	Order codes				
	TO-220	DPAK	D ² PAK	TO-220FP	TO-3
L7805					L7805T
L7805C	L7805CV	L7805CDT-TR	L7805CD2T-TR	L7805CP	L7805CT
L7806C	L7806CV		L7806CD2T-TR		L7806CT
L7808C	L7808CV		L7808CD2T-TR	L7808CP	
L7885C	L7885CV		L7885CD2T-TR ⁽¹⁾	L7885CP ⁽¹⁾	L7885CT ⁽¹⁾
L7809C	L7809CV		L7809CD2T-TR	L7809CP	
L7812C	L7812CV		L7812CD2T-TR	L7812CP	L7812CT
L7815C	L7815CV		L7815CD2T-TR	L7815CP	L7815CT
L7818C	L7818CV		L7818CD2T-TR ⁽¹⁾		L7818CT
L7824C	L7824CV		L7824CD2T-TR	L7824CP	L7824CT

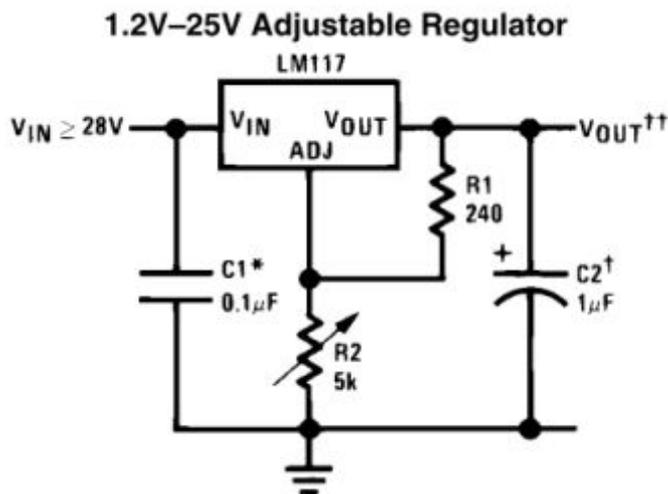


- Для создания источников отрицательного напряжения используются ИМС серии 79xx

Линейные регуляторы напряжения

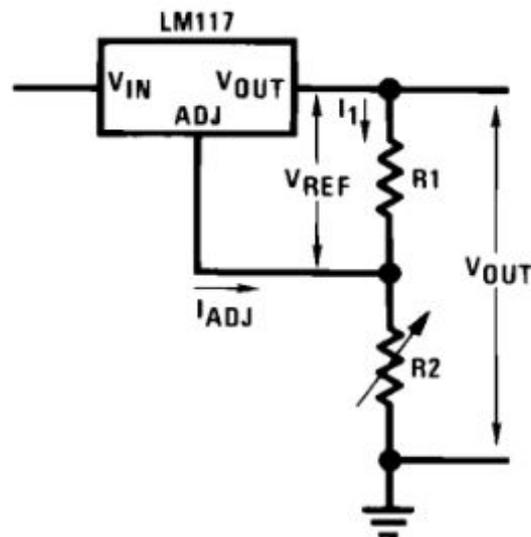
- Самый популярный в мире настраиваемый линейный регулятор напряжения – LM317

- Эта ИМС следит за разницей напряжений ее выхода «VOUT» и входа ОС «ADJ»



- Если оно составляет меньше фиксированного значения VREF – 1.25 В, ИМС увеличивает выходное напряжение, в противном случае - уменьшает
- Настройка выходного напряжения LM317 осуществляется подбором пары R1 и R2

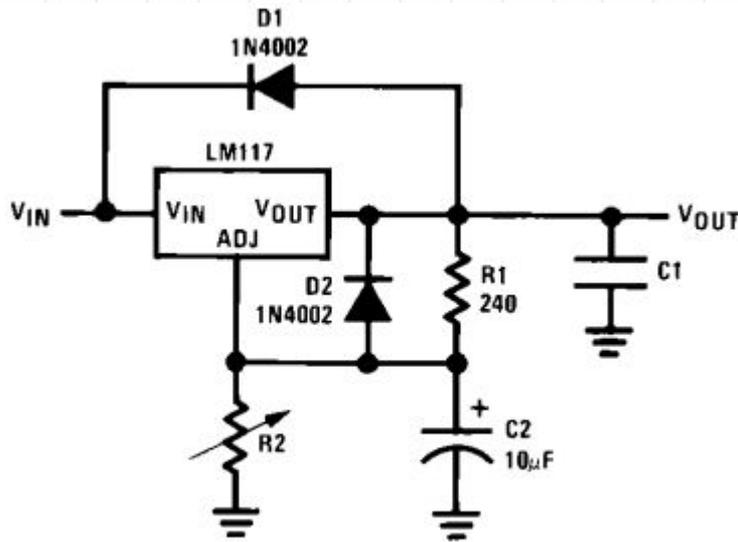
$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{ADJ} R_2$$



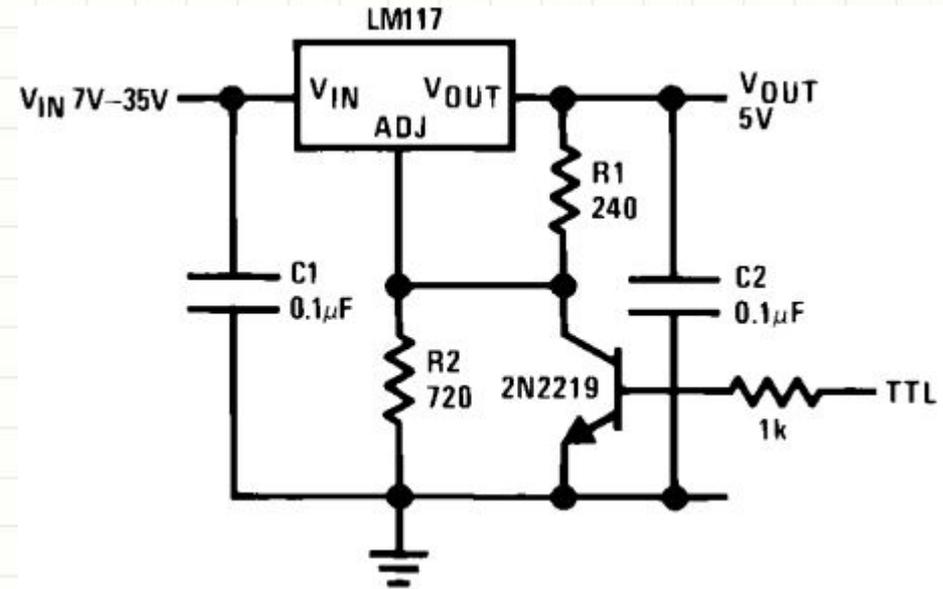
Линейные регуляторы напряжения

- Ограничения линейных регуляторов напряжения:
 - Выходной конденсатор. В зависимости от типа, для стабильности регулятора он должен иметь номинал не менее 100 нФ... несколько мкФ
 - Выходной ток. Обычно он должен быть не меньше, чем несколько мА
 - Ток цепи ОС (R1, R2) должен быть на 1-2 порядка выше малого тока I_{REF}
 - Минимальная разность $U_{ВХ} - U_{ВЫХ}$ обычно составляет 2-3В
 - Максимальное входное напряжение обычно не превышает 30-40 В

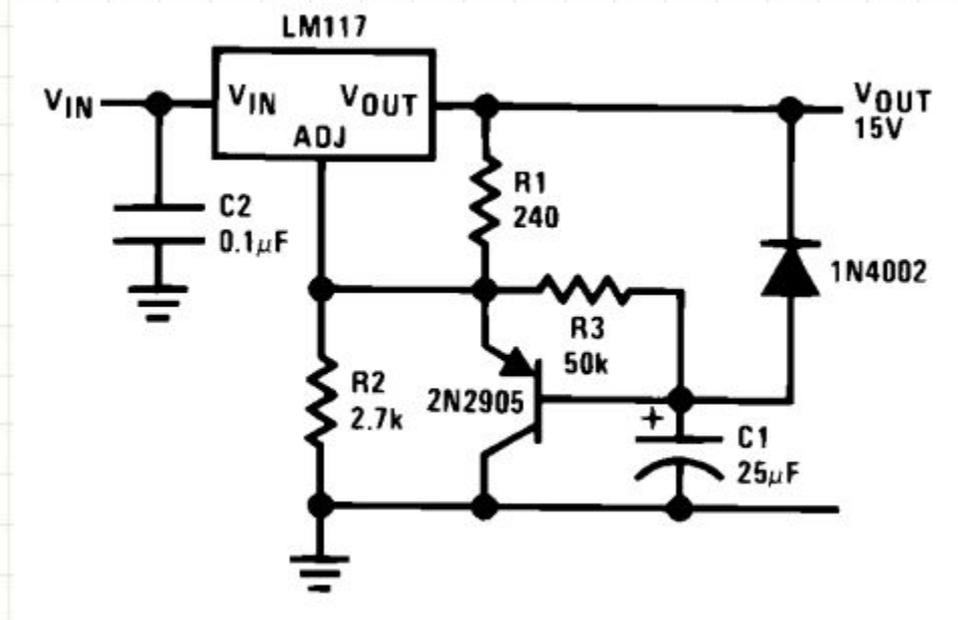
Схемы на линейных регуляторах: источник напряжения с защитой, с возможностью отключения



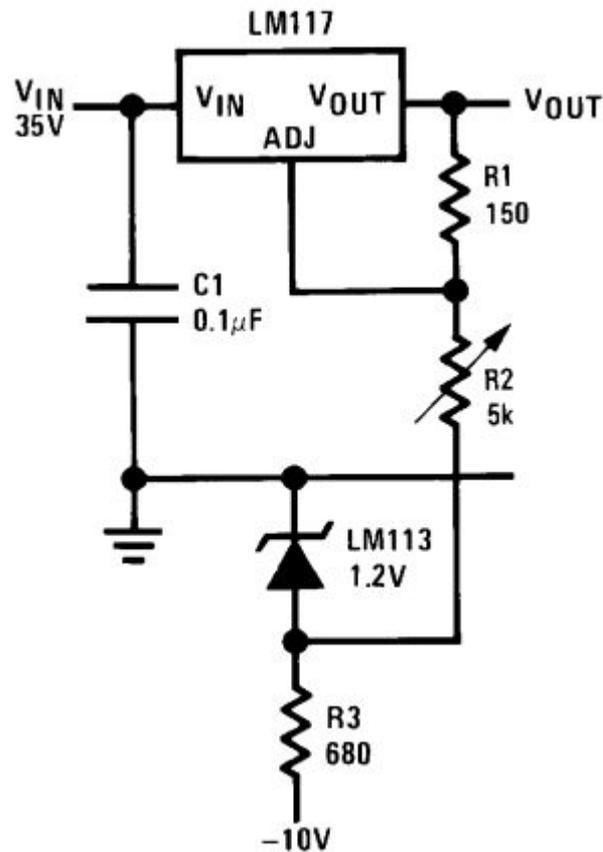
906307



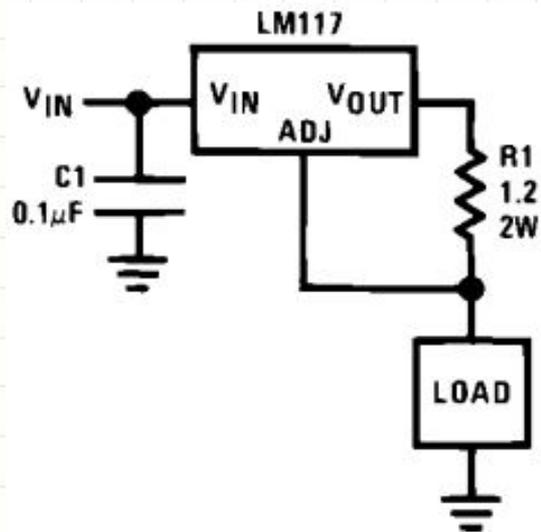
Источник напряжения с плавным запуском



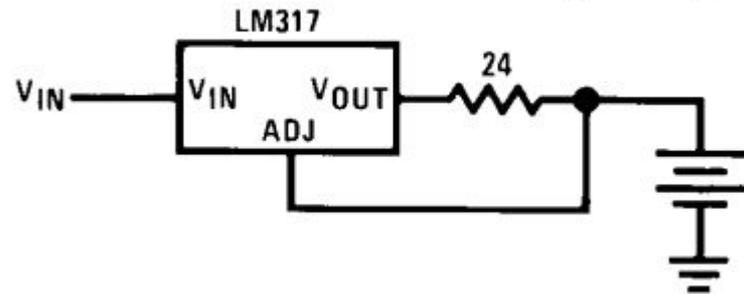
Перестраиваемый источник напряжения (0-30 В)



Стабильный источник тока, зарядное устройство для аккумуляторов



50mA Constant Current Battery Charger



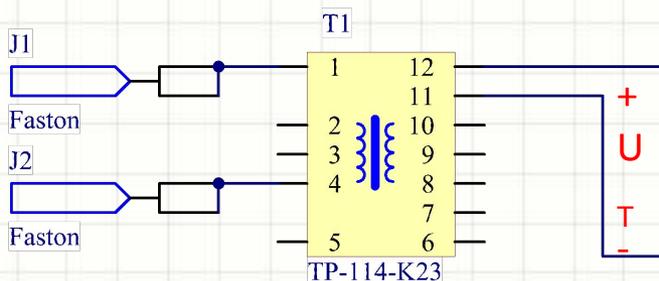
Простой линейный источник питания

- Присутствует во половине заданий на курсовое проектирование
- Служит для преобразования напряжения питающей сети (220 В 50 Гц) в постоянное напряжение, например, 5В для питания микросхем ТТЛ-совместимых серий
- Состоит из:
 1. Трансформатора напряжения
 2. Диодного моста
 3. Сглаживающего конденсатора
 4. Линейного регулятора напряжения

Простой линейный источник питания

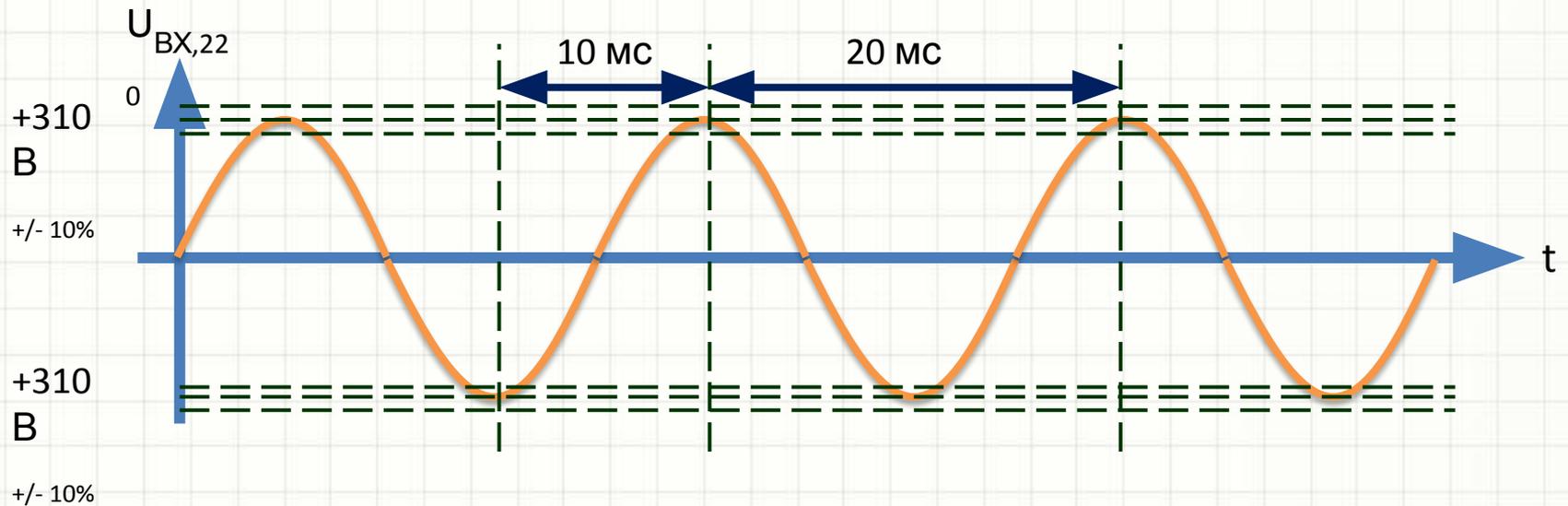


- Питание в устройство (220 В 50 Гц) подается через пару разъемов, например, «мощных» ножевых разъемов Faston 6,5 мм
- Оцениваем максимальное потребление схемы. Пусть, оно составляет порядка 1.5 А при напряжении питания микросхем +3.3 В
- Напряжение понижается выбранным трансформатором, подключение – с учетом цоколевки модели трансформатора согласно документации
- На выходе трансформатора – «отмасштабированное» синусоидальное напряжение



Типономинал	Номера выводов вторичных обмоток	Напряжение вторичных обмоток, В		Ток номинальной Нагрузки, А
		в режиме хол.хода	в режиме номиналь.нагрузк и	
1	2	3	4	5
ТП-114-1	11 – 12	7.8	6.3	2.1
ТП-114-2	11 – 12	11.1	9.0	1.47
ТП-114-3	11 – 12	13.0	10.6	1.23
ТП-114-4	11 – 12	13.8	11.2	1.18
ТП-114-5	11 – 12	14.4	11.8	1.12
ТП-114-6	11 – 12	9.4	8.0	1.65
ТП-114-7	11 – 12	16.5	13.2	1.0
ТП-114-8	9 – 10	18.3	15.0	0.44
	11 – 12	18.6	15.0	0.44
ТП-114-9	11 – 12	23.1	18.0	0.73
ТП-114-10	11 – 12	25.5	21.2	0.62
ТП-114-11	11 – 12	29.1	23.6	0.56
ТП-114-12	11 – 12	19.4	16.0	0.82

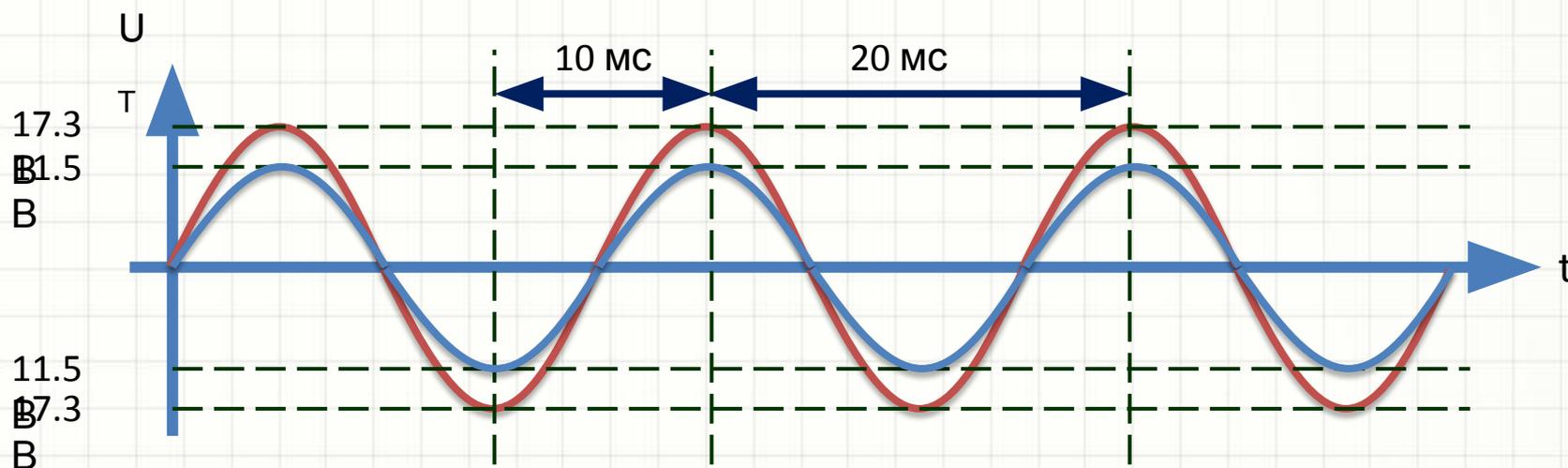
Простой линейный источник питания



- Напряжение в промышленной сети 220 В согласно ГОСТ Р 54149-2010 имеет точность $\pm 10\%$, т.е.:
 - Действующее значение: 198...242 В
 - Амплитудное значение: 280...342 В

Простой линейный источник питания

- Для выбранного трансформатора ТП-114-1 при номинальном входном напряжении :
 - напряжение холостого хода составляет 11.1 В (RMS)
 - напряжение при номинальной нагрузке – 9 В (RMS)
- Следовательно, при точности входного напряжения питающей сети +/- 10% получим:
 - Минимально возможное значение амплитуды напряжения на вторичной обмотке $U_T = (9-10\%) \cdot \sqrt{2} = 11.5\text{В}$
 - Максимально возможное значение амплитуды напряжения на вторичной обмотке $U_T = (11.1+10\%) \cdot \sqrt{2} = 17.3\text{В}$



Простой линейный источник питания

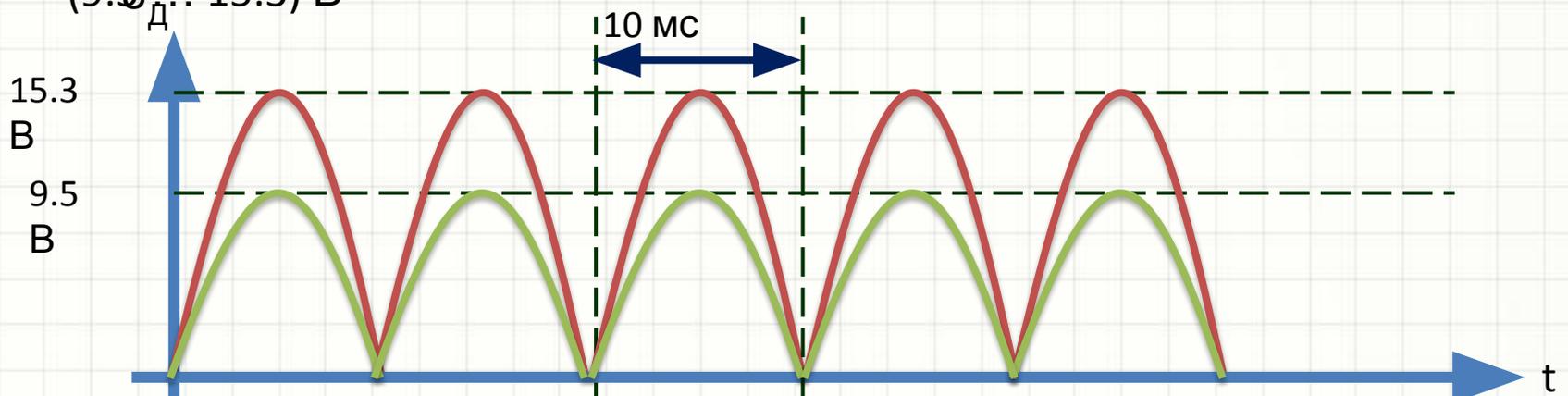


**2KBR01,
Диодный**

- Выбираем диодный мост:
 - Рабочее напряжение не ниже 17.3В
 - Рабочий ток не менее 1.5 А
- После диодного моста напряжение вида $|\sin(\omega t)|$ имеет амплитуду в пределах $(11.5 \dots 17.3) - 2 = (9.5 \dots 15.3)$ В

Технические параметры

Максимальное постоянное обратное напряжение, В	100
Максимальное импульсное обратное напряжение, В	100
Максимальный прямой (выпрямленный за полупериод) ток, А	2
Максимальный допустимый прямой импульсный ток, А	60
Максимальный обратный ток, мкА	10
Максимальное прямое напряжение, В при $I_{пр.}, А$	1

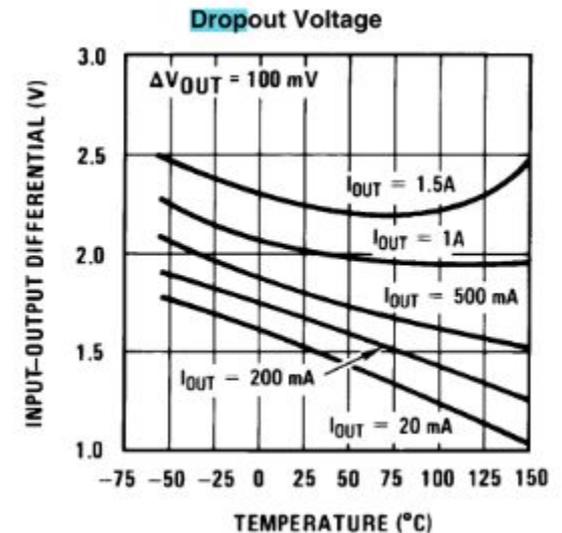


Простой линейный источник питания

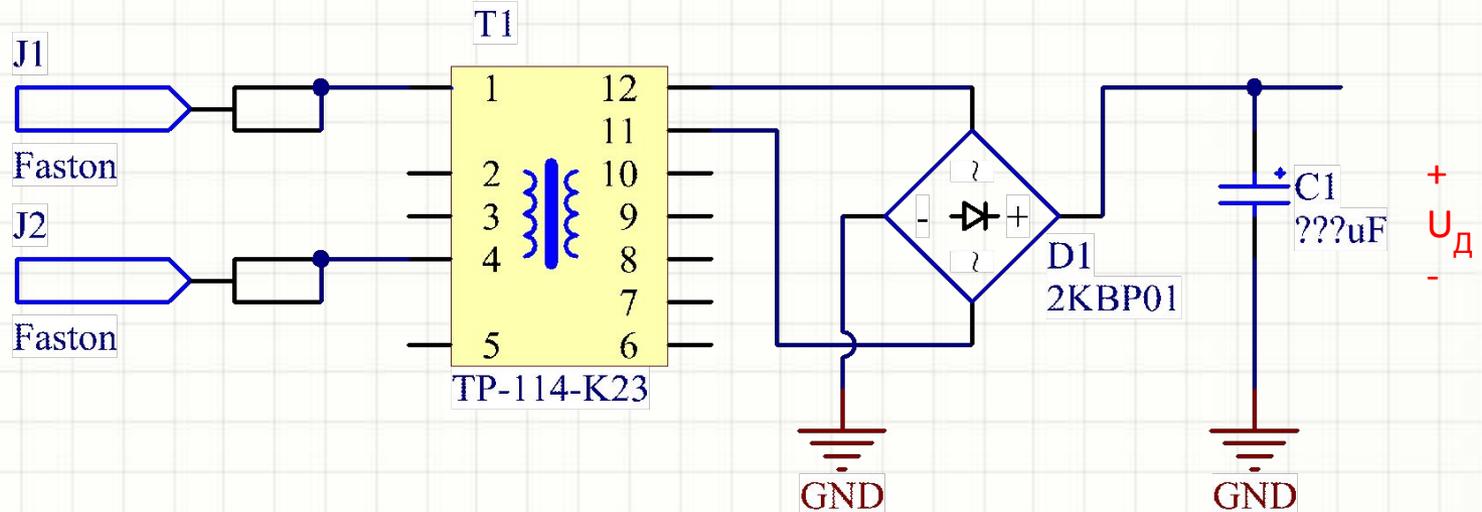


LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

- Выбираем линейный регулятор напряжения:
 - Рабочий ток не менее 1.5 А
 - Возможность создать нужное напряжение питания (3.3В)
 - Пробивное напряжения по входу не менее 15.3 В
- Пусть, это будет наиболее популярный настраиваемый регулятор LM317
- Для него разность напряжений «вход-выход» в самом худшем случае не превышает 2.5 В
- Следовательно, напряжение на входе регулятора никогда не должно быть ниже, чем $3.3 + 2.5 = 5.8$ В
- Полученная величина позволяет выбрать сглаживающий конденсатор



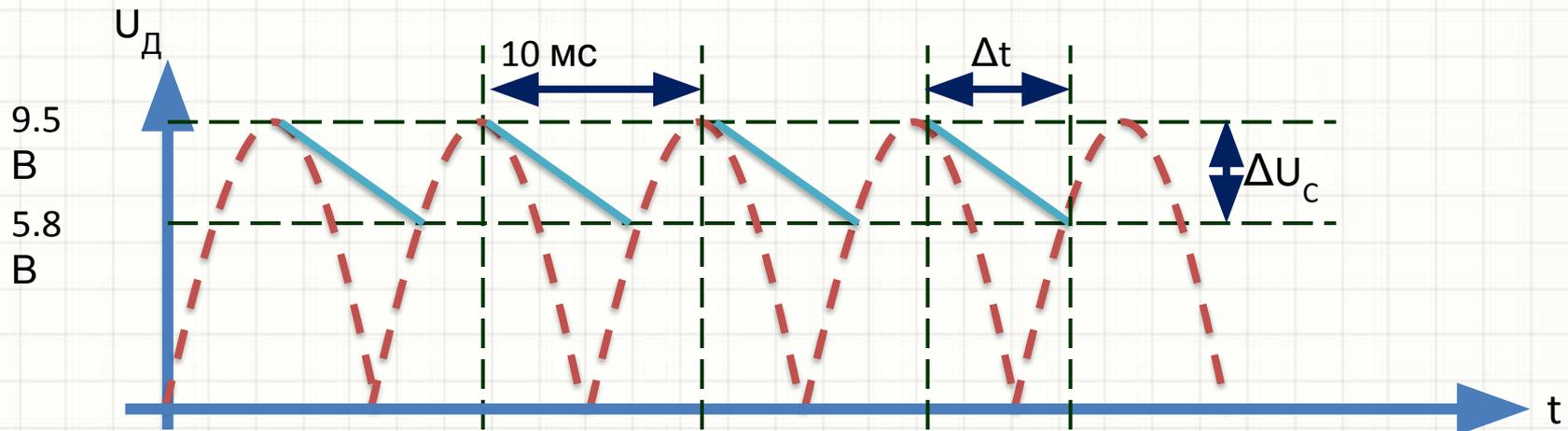
Простой линейный источник питания



- На «растущих» полупериодах выпрямленного напряжения конденсатор C1 заряжается до амплитуды напряжения U_D (действует после диодного моста)
- На «падающих» – конденсатор разряжается в нагрузку, питая схему. При этом напряжение U_D снижается, но не до нуля
- Для расчета примем ток, потребляемый нагрузкой, **константным и равным максимальному (1.5A)**

Простой линейный источник питания

- В самом худшем случае амплитуда U_D составляет 9.5В
- При этом из-за разряда конденсатора U_D не должно опускаться ниже 5.8В
- Известно, что $I_C = C \cdot dU_C/dt$. При $I_C = \text{const}$ справедливы следующие утверждения:
 - $U_C(t)$ – линейная функция
 - Можно перейти к виду $I_C = C \cdot \Delta U_C / \Delta t$
 - ΔU_C не должно превышать $9.5 - 5.8 = 3.7\text{В}$
 - Δt гарантированно меньше, чем 10 мс



Простой линейный источник питания

- Если принять Δt равным 10мс, полученное значение емкости будет превышать реально требуемое, это допустимо и правильно
- Оценим емкость как $C = I_C \cdot \Delta t / \Delta U_C = 1.5 \cdot 0.01 / 3.7 = 0,0041 \text{ Ф} = 4100 \text{ мкФ}$
- Если на данном этапе получилась емкость, превышающая прибр. 20 000 мкФ, возвращаемся в начало и выбираем трансформатор с большим выходным напряжением
- Иначе выбираем конденсатор с:
 - Ближайшим большим номиналом (емкостью) из стандартного ряда
 - Пробивным напряжением не меньше, чем максимально возможное $U_D = 15.3 \text{ В}$

Конденсаторы электролитические 5 из 757 [Техдокументация](#) [Показать картинками](#)

Пр-во Тип **Ураб., В** Емкость, мкФ Тр-б., °C Наличие Ж сброс

Номинальная емкость, мкФ

0.22	0.33	0.47	1 ₁	1.5 ₁	2.2 ₁	3.3 ₂	4.7 ₂	10 ₃	15	22 ₇	33 ₃	47 ₅	56
68	100 ₂	150	180	220 ₅	330 ₃	400	470 ₅	560	680 ₁	820	1000 ₄	1200 ₁	
1500 ₂	2200 ₅	2700 ₁	3300 ₂	4700 ₅	6800 ₃	10000 ₄	22000 ₂	33000	47000 ₁	100000			
220000													

Среднее предложение Сортировка: **Рекомендуем** Дешевле Дороже По наличию Поиск в группе

Наименование	Пр-во	Тип	Ураб., В	Емкость, мкФ	Тр-б., °C	Наличие	Цена
ECAP (K50-35), 4700 мкФ, 16 В, 105°C, Конденсатор электролитический алюминевый	Япония	K50-35	16	4700	-25...105	✓ Со склада	35 руб. <input type="text" value="1"/> <input type="button" value="В корзину"/> от 150 шт. — 25 руб. от 1000 шт. — 14.79 руб.
ECAP (K50-35), 4700 мкФ, 16 В, 105°C, Конденсатор электролитический	Тайвань	K50-35	16	4700	-40...105	✓ Со склада	11 руб. <input type="text" value="1"/> <input type="button" value="В корзину"/> от 500 шт. — 6.40 руб.

Фото 2/2 ECAP (K50-35), 4700 мкФ, ...



Простой линейный источник питания

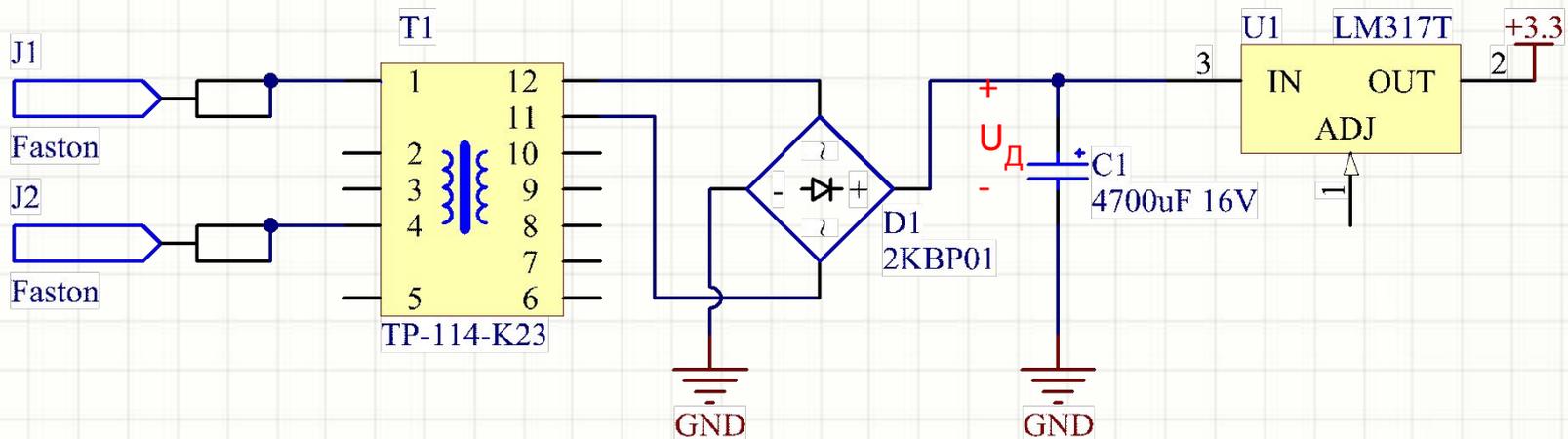
- Оцениваем с запасом максимально возможную мощность, выделяющуюся на регуляторе как:

$$(U_{\text{дmax}} - U_{\text{ВЫХ}}) I_{\text{ВЫХ}} = ((9+10\%) \cdot \sqrt{2} - 2 - 3.3) \cdot 1.5 = 13 \text{ Вт}$$

Амплитуда напряжения на выходе нагруженного трансформатора, max

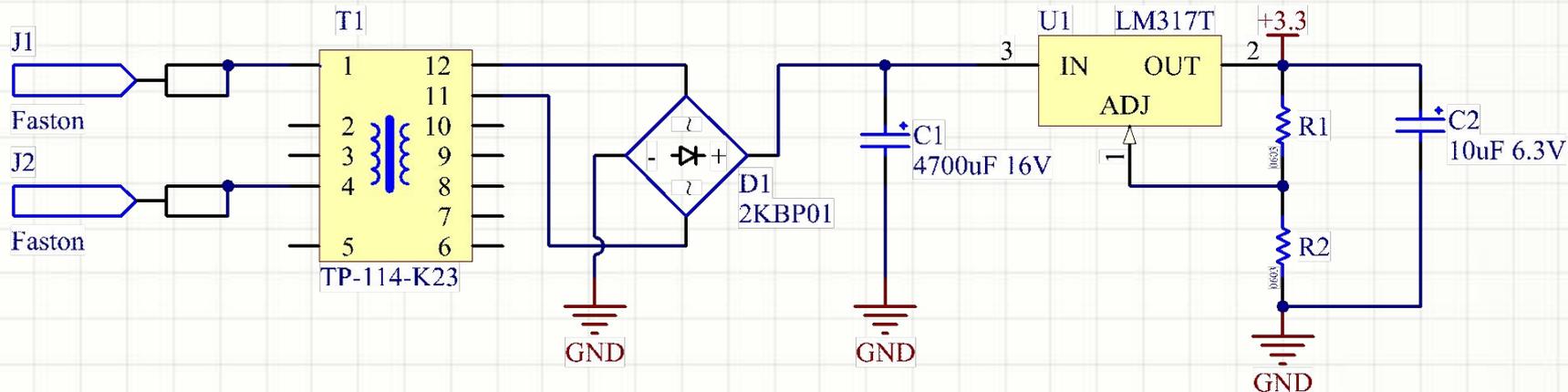
Падение напряжения на диодном мосту

- Выбираем условия охлаждения регулятора (см. тему «расчеты»), рассчитывая термосопротивление радиатора
- *Примечание: рассмотренный пример весьма абстрактный, в промышленности вместо мощных (5Вт) линейных регуляторов с КПД порядка 50% выпускают более эффективные импульсные*



Простой линейный источник питания

- На выход регулятора ставим конденсатор номинала, не менее указанного в документации (1 мкФ для LM317)
- Рассчитываем резисторы, задающие выходное напряжение – R1 и R2



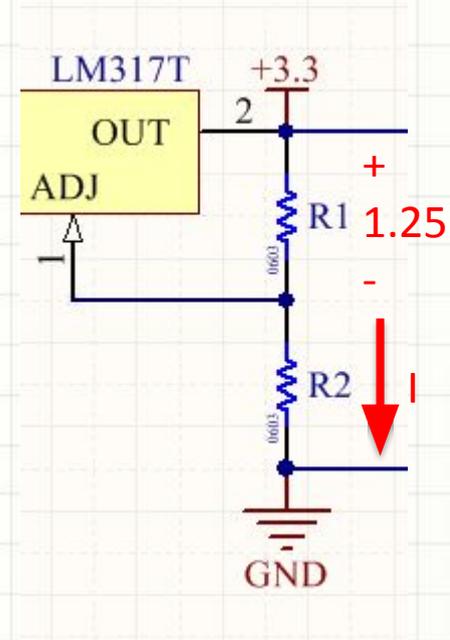
Простой линейный источник питания

- Регулятор поддерживает напряжение 1.25 В между выходом и входом ADJ, следовательно:

$$\circ U_{\text{ВЫХ}} = \frac{1.25}{R_1} \cdot (R_1 + R_2)$$

$$\circ \frac{R_2}{R_1} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{1.25} - 1 = \frac{3.3}{1.25} - 1 = 1.64$$

- При помощи онлайн-калькулятора (см. тему №2) выбираем пару номиналов по набору 1% резисторов E96: **11.5** и **6.98**

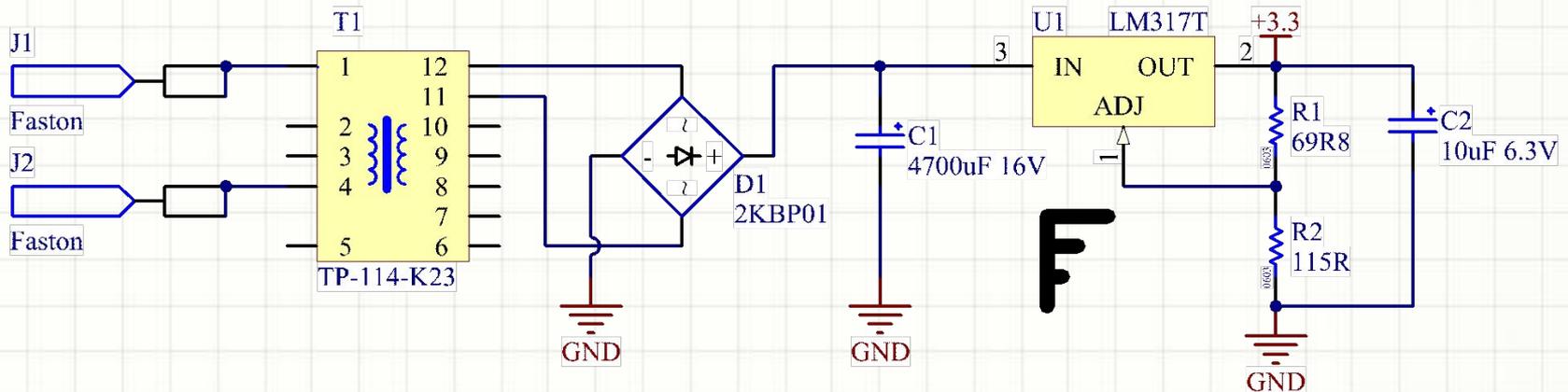


Простой линейный источник питания

- Выбираем порядок номиналов исходя из минимального тока нагрузки LM317 (5 мА в худшем случае)
- Для пары 115 и 69.8 Ом ток I составит $3.3/(115+69.8) = 17.9$ мА
- Убеждаемся в том, что этот ток много больше тока «Adjustment Pin Current» (100 мкА для LM317)
- Убеждаемся, что резисторы 0603 (0,0625 Вт) подойдут:
 - $P_{R2} = I^2 \cdot R2 = 0,0179^2 \cdot 115 = 0,037$ Вт
 - $P_{R1} = I^2 \cdot R1 = 0,0179^2 \cdot 69,8 = 0,022$ Вт
- Источник питания готов!

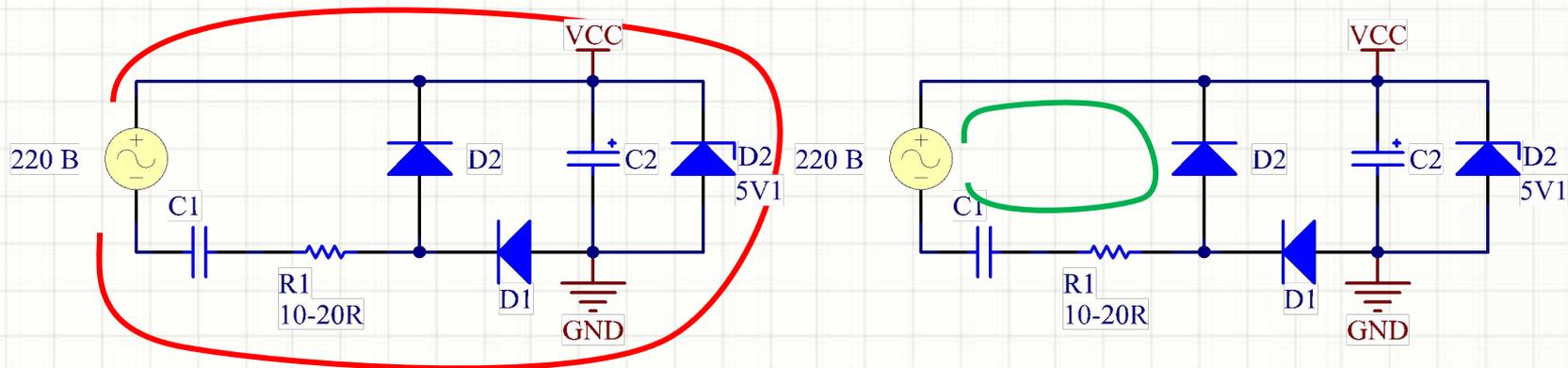
Простой линейный источник питания

- На схеме можно изобразить значок, показывающий необходимость использовать радиатор для охлаждения регулятора:



Блоки питания с гасящим конденсатором

- Не требуют трансформатора, но не изолированы от сети
- Просты и дешевы в производстве
- Применимы для питания маломощных (несколько мА) нагрузок
- Простейший вариант:



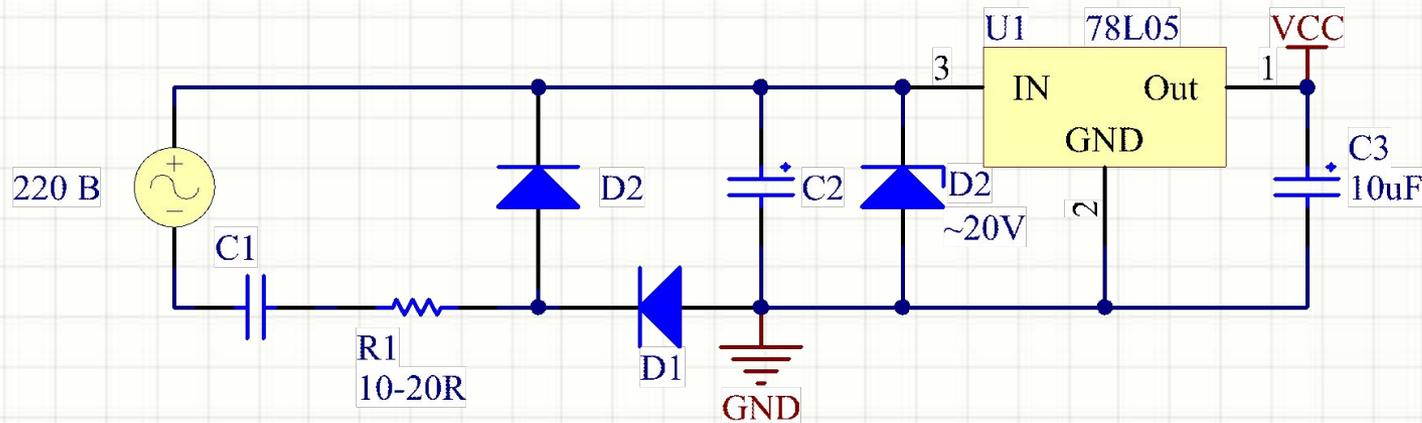
- В полупериод 1 ток заряжает C2 до напряжения не больше, чем рабочее напряжение стабилитрона
- В полупериод 2 схема питается от медленно снижающегося напряжения с заряженного C2. C1 перезаряжается через D2

Блоки питания с гасящим конденсатором

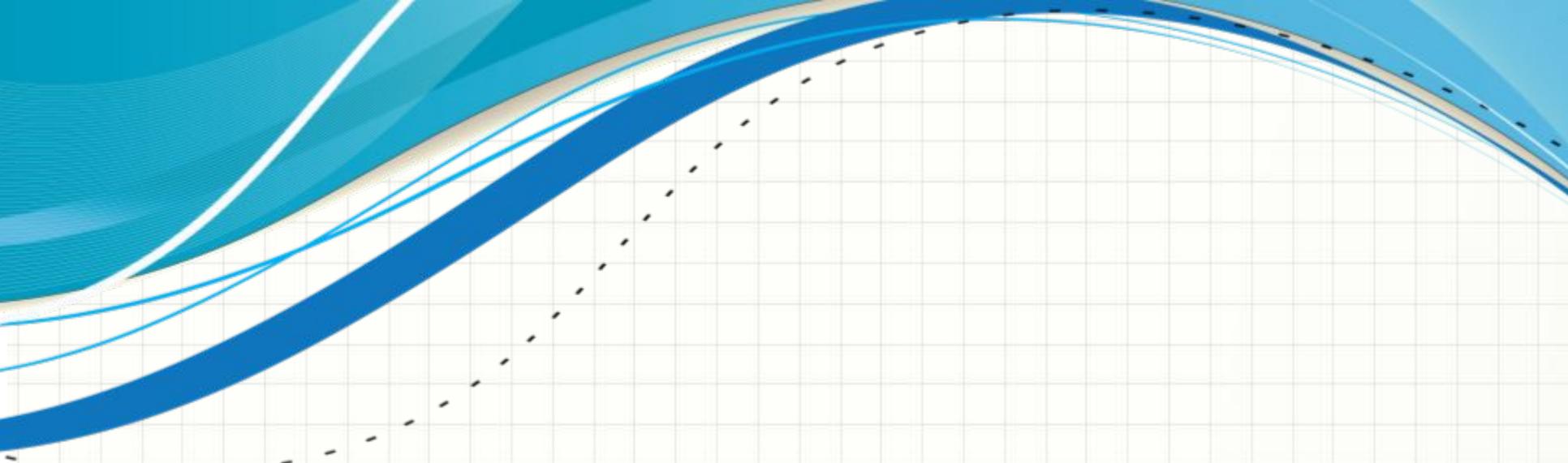
- Резистор R1 ограничивает импульсный ток, потребляемый схемой, при подключении к промышленной сети
- Импеданс конденсатора C1 ($X_{C1} = 1/\omega C1$) ограничивает ток, текущий на зарядку C2, а затем – через стабилитрон
- На выходе простой схемы всегда есть пульсации напряжения

Блоки питания с гасящим конденсатором

- Более совершенная схема:



- Оценка номинала гасящего конденсатора проста: ток $I_{C1'}$ заряжающий C2, имеет тот же порядок, что ток $I_{C2'}$ питающий схему во второй полупериод
- Ток потребления от C2 можно опять принять постоянным, пульсации – задать
- Тип C1 – неполярный, пленочный, высоковольтный конденсатор



**РАСЧЕТЫ (В ТОМ
ЧИСЛЕ ТЕПЛОВЫЕ)**

Расчеты

- **Что требуется рассчитывать:**
 - Номиналы пассивных компонентов времязадающих цепей
 - Номиналы токоограничительных резисторов для светодиодов, базовые резисторы транзисторных ключей, резисторов, задающих коэффициенты усиления каскадов
 - Номиналы сглаживающих конденсаторов линейных БП, емкости для БП с гасящим конденсатором
 - Мощности для электронных компонентов, в т.ч. резисторов, если они «на глаз» составляют более 1/16 Вт
 - Тепловые режимы для мощных транзисторных ключей и симисторов (когда коммутируемый ток превышает приibl. 100 мА)
- **Что НЕ требуется рассчитывать:**
 - Номиналы резисторов-подтяжек (pull-up resistors) для выходов с открытым коллектором
 - Номиналы блокировочных конденсаторов, включаемых параллельно выводам питания всех ИМС
 - Номиналы компонентов, размещаемых в схеме согласно рекомендациям производителя компонента (достаточно дать ссылку на эту документацию)

Расчеты

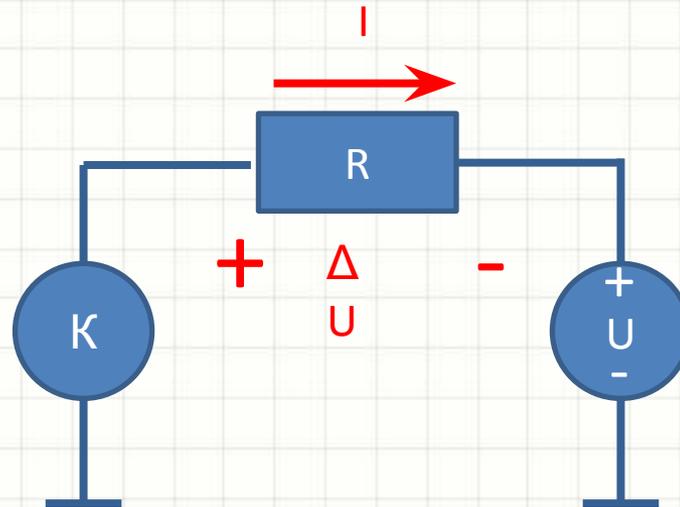
- Все расчеты связаны с пониманием схемотехники тех или иных блоков схемы
- Все расчеты в предлагаемом курсовом проекте – не сложнее школьной алгебры
- **Единственные расчеты вне «схемотехнических» знаний - тепловые расчеты. Этого на лекциях не было!**
- ***Смысл тепловых расчетов чрезвычайно прост!***

Тепловые расчеты

- Тепловой расчет для компонента делается чтобы убедиться, чтобы он не перегреется, рассеивая некую мощность.
 - Для резистора все просто – выделяемая в схеме мощность должна быть не выше паспортной.
 - Для транзисторов и других компонентов, которые можно поставить на **радиатор**, все немного сложнее.
 - Сначала нужно в любом случае вычислить электрическую мощность, которая выделится на компоненте
 - для транзисторного ключа $P = I_K * U_{КЭ,нас}$
 - для симистора при полном открытии $P = I * U_{ТМ}$
 - и т.д., мощность = ток*напряжение (для импульсных и мощных цифровых микросхем все куда сложнее, но в к/р таких нет)

Тепловые расчеты

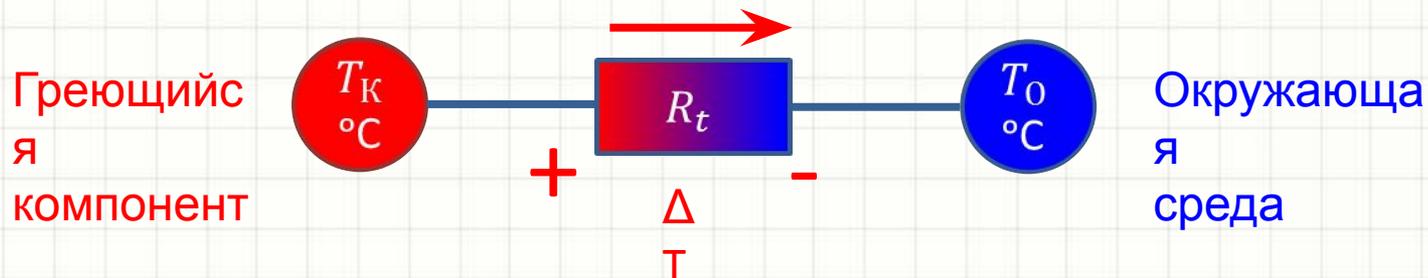
- Всем известный закон Ома для участка цепи можно графически проиллюстрировать так:



- Известно, что:
 - напряжение источника справа, измеренное относительно «земли», равно U
 - электрический ток через резистор равен I
 - сопротивление резистора составляет R
- Тогда напряжение на некоем компоненте K относительно общей «земли» будет равно $U + \Delta U$ или $U + I \times R$

Тепловые расчеты

- В самом простом линейном стационарном случае законы, которым подчиняются процессы охлаждения нагревающего компонента (на котором из-за работы тока выделяется тепловая мощность), описываются точно также:



- Некий компонент, температура которого в устоявшемся режиме составляет T_K , выделяет тепловую мощность P , отводимую через объект с **термическим сопротивлением R_t** в окружающую среду с температурой T_0

Тепловые расчеты

- Соотношения для перечисленных величин в случае теплоотвода в устоявшемся режиме совершенно аналогичны закону Ома для участка цепи, что облегчает запоминание модели для тех, кто знаком с электротехникой:

$$\Delta T = T_K - T_0 = P \times R_t$$

- При этом ***термическое сопротивление описывает способность какого-либо объекта препятствовать распространению теплового движения молекул, то есть препятствовать передаче тепла***
- Термическое сопротивление зависит от геометрии объекта и теплопроводности материала, из которого он сделан
- Единицы измерения термического сопротивления – К/Вт, градусов Кельвина (Цельсия) на Ватт (см. формулу теплопроводности, λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м/К)

$$R_t = \frac{L}{\lambda \times S}$$

Еще об аналогиях с законом Ома

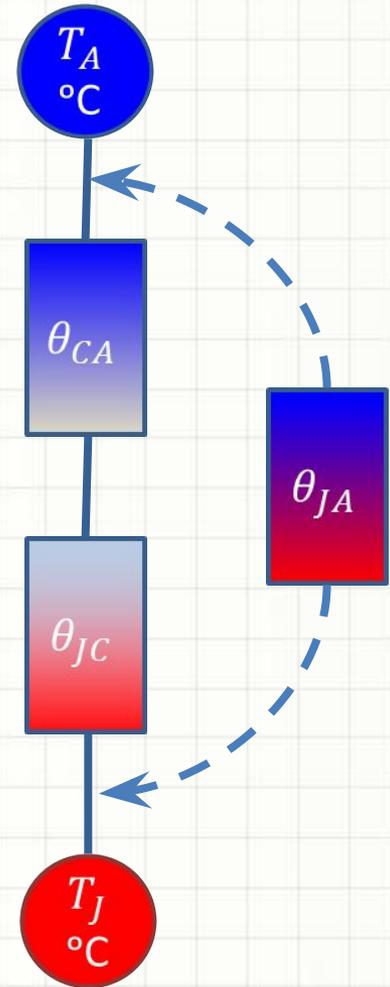
- К этому соответствию нужно привыкнуть, это нужно запомнить:

Электрические величины	Тепловые величины
Потенциал, напряжение в узле относительно «земли» [В]	Температура объекта, [К] или [С]
Постоянный электрический ток, [А]	Поток тепловой энергии, или передаваемая тепловая мощность, [Вт]
Электрическое (Омическое) сопротивление, [Ом]	Термическое (тепловое) сопротивление [К/Вт] или [С/Вт]
Разность потенциалов, падение напряжения [В]	Разность температур, англ. Temperature Drop [К] или [С]

- Оперировать с тепловыми величинами в случае грубого приближения (стационарного режима) нужно также, как мы оперируем с электрическими величинами

Тепловые расчеты

- Если компонент не ставится на радиатор, то его тепловая цепь охлаждения состоит из:
 - θ_{JC} - термосопротивления «**Junction-to-Case**» (от кристалла к поверхности корпуса компонента)
 - θ_{CA} термосопротивления «**Case-to-Ambient**» (способность корпуса отдавать тепло неподвижному воздуху и излучением)
- Поток тепла на своем пути преодолевает два последовательно включенных сопротивления, дающих в сумме $\theta_{JA} = \theta_{JC} + \theta_{CA}$, термическое сопротивление между кристаллом и окружающей средой, **Junction-to-Ambient**
- Все « θ » – паспортные характеристики компонента
- Зная температуру окружающей среды, выделяемую мощность и θ_{JA} , можно рассчитать температуру кристалла.
 - Если она меньше максимально допустимой по документации на компонент (а лучше - не более 60...70 С), радиатор не нужен
 - Иначе следует выбрать радиатор!



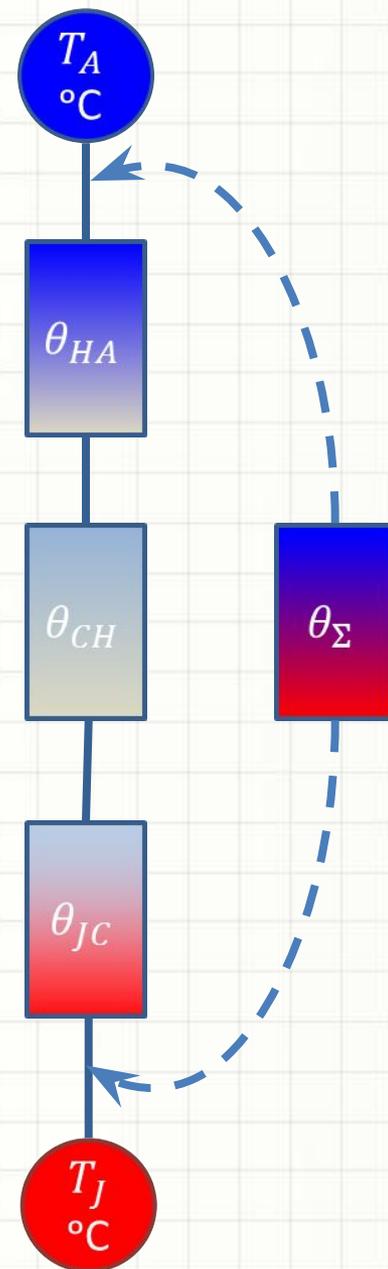
Тепловые расчеты

- С радиатором в цепи появляются:
 - θ_{CH} - термосопротивление «*Case-to-heat sink*». В вашем ПК это - свойство термопасты на процессоре. Обычно для простоты его принимают нулевым.
 - θ_{HA} - термосопротивление «*Heat sink-to-ambient*» - паспортное свойство радиатора (с вентилятором или без).
- Радиаторы, естественно, делают так, чтобы выполнялось:

$$\theta_{JC} + \theta_{CH} + \theta_{HA} < \theta_{JC} + \theta_{CA} \text{ или (примерно)}$$

$$\theta_{HA} < \theta_{CA}$$

- Так и получается, т.к. размеры и площадь поверхности радиаторов обычно намного больше размеров и площади поверхности корпуса микросхемы или транзистора
- Используя «тепловой закон Ома», для случая радиатора следует:
 - Задать температуру окружающей среды
 - Задать температуру «кристалла»
 - Найти в документации компонента θ_{JC}
 - Вычислить максимальное θ_{HA} и выбрать радиатор по каталогу





**ЦИФРОВЫЕ
МИКРОСХЕМЫ
КОМБИНАТОРНОГО ТИПА**

Содержание

- Пара слов о системах счисления и числах
- Серии цифровых микросхем
- Логические элементы и схемы на их основе – от формулировки правила работы блока к его схеме
- Комбинаторные логические микросхемы общего назначения
- Преобразователи кодов и индикация
- Генераторы прямоугольных импульсов

Системы счисления

- Одна цепь – логический уровень, бит – отвечает на вопрос «да» или «нет».
- Любая группа битов может нести двоичное число
- Нужно знать (*вспомнить самостоятельно, подробно рассказывать некогда*):
 - Что такое десятичная, двоичная, **двоично-десятичная система счисления, одноединичный** (позиционный) **код**
 - Как записываются отрицательные числа
 - Как рассчитывается максимально число, которое можно записать в n двоичных битов
 - Что будет, если сдвинуть двоичное число на 1, 2, 3 разряда влево или вправо

BCD – ДВОИЧНО-ДЕСЯТИЧНЫЙ КОД

- Как отобразить двоичное число в десятичном виде на 7-сегментных индикаторах?
 - Требуется выделить из двоичного числа:
 - Количество единиц
 - Количество десятков
 - Количество сотен и т.д.
 - Преобразовать эти значения в коды управления семисегментных индикаторов
- Преобразовать можно было бы по таблице истинности, если бы одному десятичному разряду соответствовало бы целое количество двоичных разрядов, но это не так:

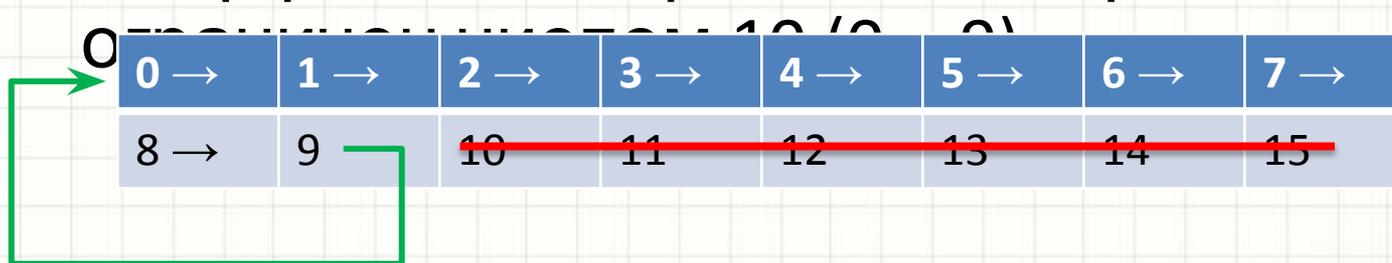
Число (DEC)	Число (BIN)	Десятичных разрядов, шт.	Двоичных разрядов, шт.
7	111	1	3
8	1000	1	4
15	1111	2	4
16	10000	2	5
99	110 0011	2	7
100	110 0100	3	7

BСD – двоично-десятичный код

- Для работы с двоичными числами в форме, удобной для преобразования в десятичные символы на дисплеях, придумали двоично-десятичный код – Binary-Coded Decimal (BCD)
- BCD – такая система исчисления, где:
 - Биты сгруппированы по 4 (в полубайты)
 - **Каждый полубайт может принимать значения от 0 до 9** (а не от 0 до 15)
 - Если младший полубайт нужно увеличить на 1, а он равен 9, его обнуляют, увеличивая на 1 следующий полубайт

BСD – двоично-десятичный код

- Существуют двоично-десятичные счетчики:
 - Имеют 4 разряда
 - Считают от 0 до 9, а затем переполняются
 - Представляют собой двоичные счетчики, коэффициент пересчета которых



- При хранении числа 9 по тактовому импульсу BСD-счетчик переполняется, переходит на ноль и сообщает об этом счетчику следующего разряда

BСD – двоично-десятичный код

- Все, у кого в схеме нужны 7-сегментные индикаторы на 2 и более разрядов, должны использовать только BСD-счетчики!
- А что если двоичное число уже есть (поступило с АЦП...)?
- Как «достать» из двоичного числа количество разрядов сотен, десятков, единиц?

$N = 123$

Число сотен = $N / 100$ нацело = $123/100 = 1$

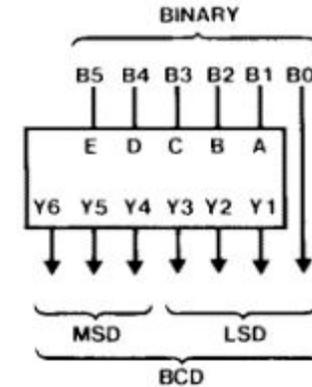
Число десятков = (остаток от деления $N / 100$) / 10 нацело
= $(123 \% 100) / 10 = 23 / 10 = 2$

Число единиц = (остаток от деления $N / 10$) = 3

- Формальное преобразование по такому алгоритму под силу только компьютеру!

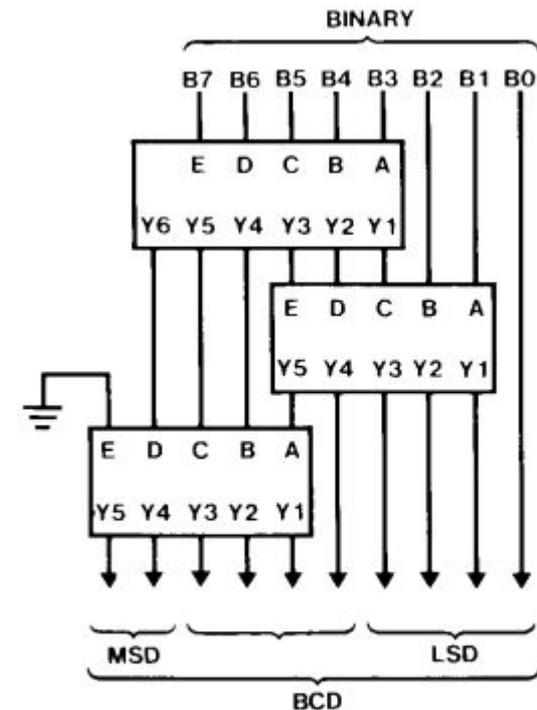
VCD – двоично-десятичный код

- Методами простой цифровой схемотехники такое преобразование с известными ограничениями можно сделать при помощи специальной микросхемы (по сути, ПЗУ) типа 74185
- В зависимости от разрядности двоичного кода, может потребоваться разное количество таких ПЗУ. Пример на рисунках – для преобразования 6 бит (0...63) и байта (0...255)
- Содержимое ПЗУ весьма своеобразно и составлено очень «хитро», с пониманием теории чисел



TL/F/6561-10

FIGURE 4. 6-Bit Binary-to-BCD Converter



TL/F/6561-11

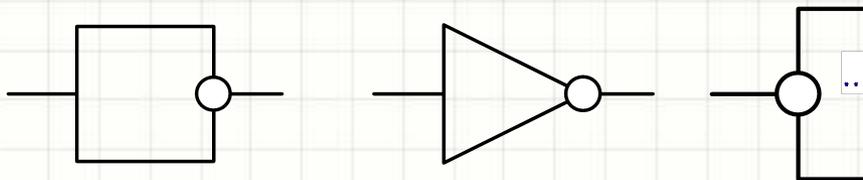
FIGURE 5. 8-Bit Binary-to-BCD Converter

Цифровые микросхемы

- ... это микросхемы, которые работают с цифровыми сигналами
- Одна цепь – один бит
- Низкое значение напряжения – 0, высокое – 1
- Микросхемы, которые работают с одиночными битами – логические (И, ИЛИ, НЕ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, Исключающее ИЛИ и т.д.)
- Микросхемы на их основе, которые не умеют запоминать биты – **комбинаторные цифровые** (сумматоры, компараторы, преобразователи кодов, шифраторы, дешифраторы и т.д., включая упомянутую выше 74185)

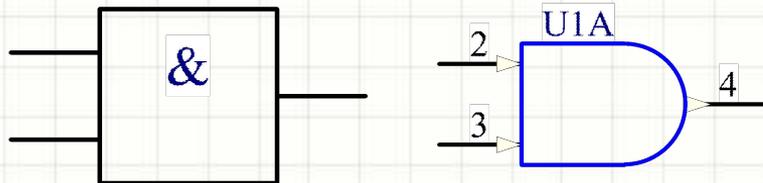
Логические элементы и операции

- Операция инверсии на языке логики называется «НЕ», «NOT»
- Инвертированный сигнал X в алгебре логики обозначается как \bar{X}
- На языках программирования подобных C/C++ инверсия величины X обозначается как $!X$
- На электрических схемах:



Логические элементы и операции

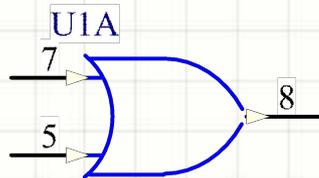
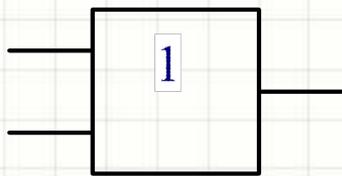
- Операция конъюнкции ($a \wedge b$)
- Операция инверсии на языке логики называется «И», «AND»
- Конъюнкция сигналов $X1$ и $X2$ в алгебре логики записывается как $X1 \cdot X2$
- На языках программирования подобных C/C++ операция записывается как $X1 \& X2$
- На электрических схемах:



X1	X2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Логические элементы и операции

- Операция дизъюнкции ($a \vee b$)
- Операция инверсии на языке логики называется «ИЛИ», «OR»
- Дизъюнкция сигналов $X1$ и $X2$ в алгебре логики записывается как $X1+X2$
- На языках программирования подобных C/C++ операция записывается как $X1 | X2$
- На электрических схемах:



X1	X2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Логические элементы и операции

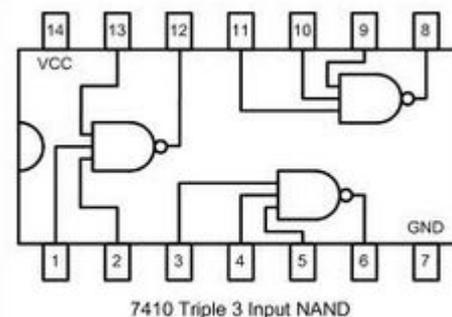
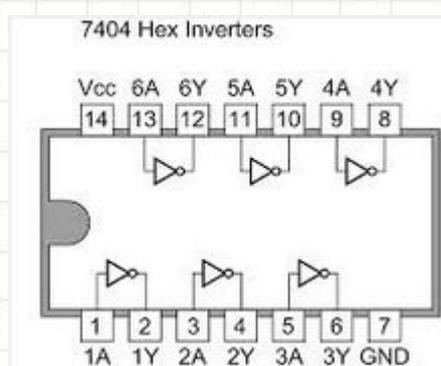
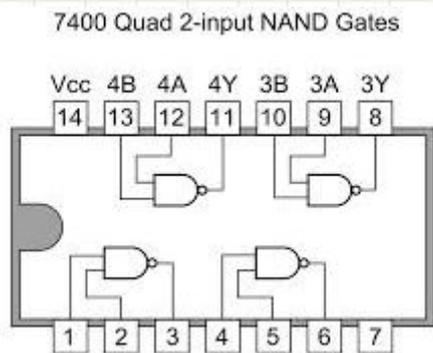
- Операция «исключающее или» на языке логики называется «XOR», «eXclusive OR»
- XOR сигналов $X1$ и $X2$ в алгебре логики записывается как $X1 \oplus X2$
- На языках программирования подобных C/C++ операция записывается как $X1 \wedge X2$
- На электрических схемах:



X1	X2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Логика

- Выпускаются логические элементы (ЛЭ) на 2, 3, 4, 6 входов (2И, 3ИЛИ, 4-input OR)
- К любому ЛЭ может быть добавлена инверсия по выходу (3И-НЕ, 4-input NAND)
- В одном корпусе обычно размещается несколько ЛЭ (gates) одного типа с общими выводами питания



- Не нужно в электрических принципиальных схемах рисовать такие микросхемы «с натуры»!

Логика

- На русском языке ЛЭ с конкретными функциями называются так:

Четыре **2И-**

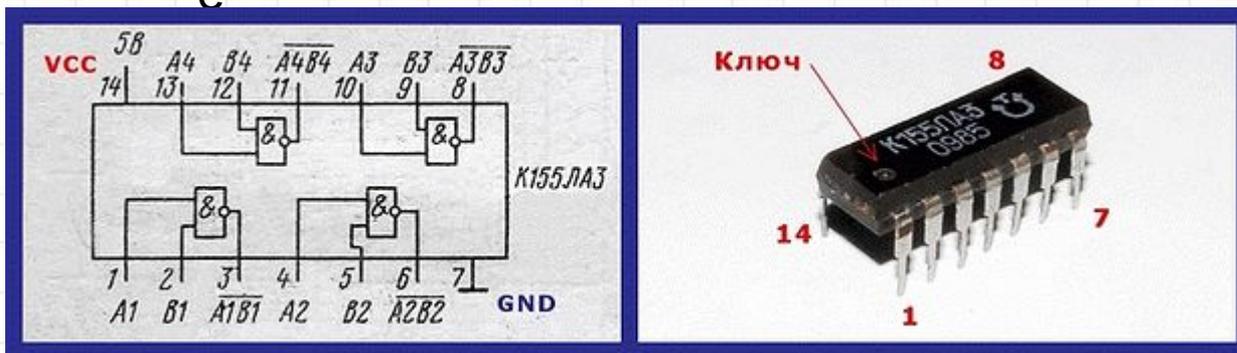
НЕ

Сколько
штук
в
корпусе

Сколько
входов у
ЛЭ

Опера-
ция

Инверсия
на
выходе



Логика

- In English this notation is quite similar:

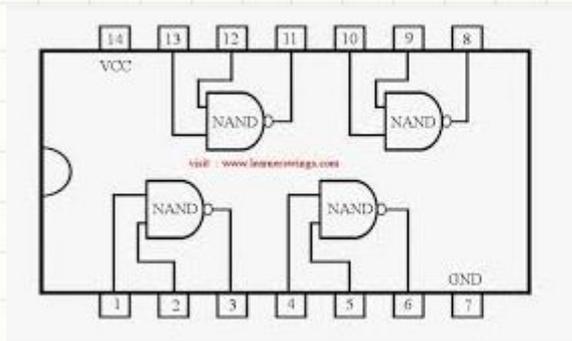
Quad **2-input** **NAND** gate

Сколько
штук
в
корпусе

Сколько
входов
у
ЛЭ

Инверсия
на
выходе

Операция



Серии цифровых микросхем

- Существует два больших семейства цифровых микросхем
- В каждом семействе в подсемействах (сериях) есть все характерные для семейства функции (микросхемы, одинаковые по функциональному назначению и цоколевке, но отличные по «физике» и технологии)
- Богатое по функционалу семейство 4000 (CD4000, HEF4000, к176):
 - Очень много разных функций
 - Низкое энергопотребление
 - Невысокая скорость
 - Низкая нагрузочная способность
 - КМОП-технология, $U_{\text{п}} = 3 \dots 15 \text{ В}$
 - Список ныне выпускаемых микросхем:
<http://www.nxp.com/products/logic/family/HEF4000B/#products>
 - **Сегодня используется все реже и реже:** появившись позже, серия была вытеснена с рынка микроконтроллерами и ПЛИС

Серии цифровых микросхем

- Исторически первое семейство 7400:
 - Микросхемы именуются как **XY74(ABC)nnnnZ**:
 - **XY** – буквенный префикс производителя (MC – Motorola, SN – TI и т.д.)
 - **74** – указание на семейство
 - **ABC** – указание на технологию производства ИМС
 - **nnnn** – функция, выполняемая микросхемой
 - **Z** – корпус (N – DIP, D – SOIC и т.д.)
 - Изначально более ограниченный функциональный набор
 - Множество технологий позволяют выбирать энергопотребление, быстродействие, поддиапазон напряжений питания, дополнительные возможности «физики» линий ввода-вывода
 - Номинальные напряжения питания – не более 5В
 - Широко выпускаются и применяются по сей день
- Некогда популярная советская серия К155 – аналог 7400



Серии цифровых микросхем

- Распространенные серии в семействе:
 - 74 – классические ТТЛ-микросхемы
 - 74НСТ – high-speed CMOS, КМОП-микросхемы с ТТЛ-совместимыми уровнями
 - 74S, 74LS, 74ALS – ТТЛ-микросхемы, быстродействие которых увеличено шунтирующими переходами транзисторов диодами Шоттки...
 - ...
 - **74НС – high-speed CMOS, $U_P = 2.0 \dots 6$ В, самая популярная ныне серия. Используйте ее!**
- Список «функций» 74-й серии легко найти, например:
<http://rabbit.eng.miami.edu/info/datasheets/>

Серии цифровых микросхем

- Параметры некоторых популярных серий

Parameter	74C	74HC	74AC	74HCT	74ACT	Units
$(V_{DD} = 5\text{ V})$						
$V_{IH}(\text{min})$	3.5			2.0		V
$V_{OH}(\text{min})$	4.5	4.9				V
$V_{IL}(\text{max})$	1.5	1.0	1.5	0.8		V
$V_{OL}(\text{max})$	0.5	0.1				V
$I_{IH}(\text{max})$	1					μA
$I_{IL}(\text{max})$	1					μA
$I_{OH}(\text{max})$	0.4	4.0	24	4.0	24	mA
$I_{OL}(\text{max})$	0.4	4.0	24	4.0	24	mA
$t_p(\text{max})$	50	8	4.7	8	4.7	ns

- **Простое решение: в курсовых работах использовать серии 74HC**
- Они совместимы с 4000-ной серией, если напряжения питания одинаковы, скажем, 5В

Основные соотношения алгебры ЛОГИКИ - ВСПОМНИМ

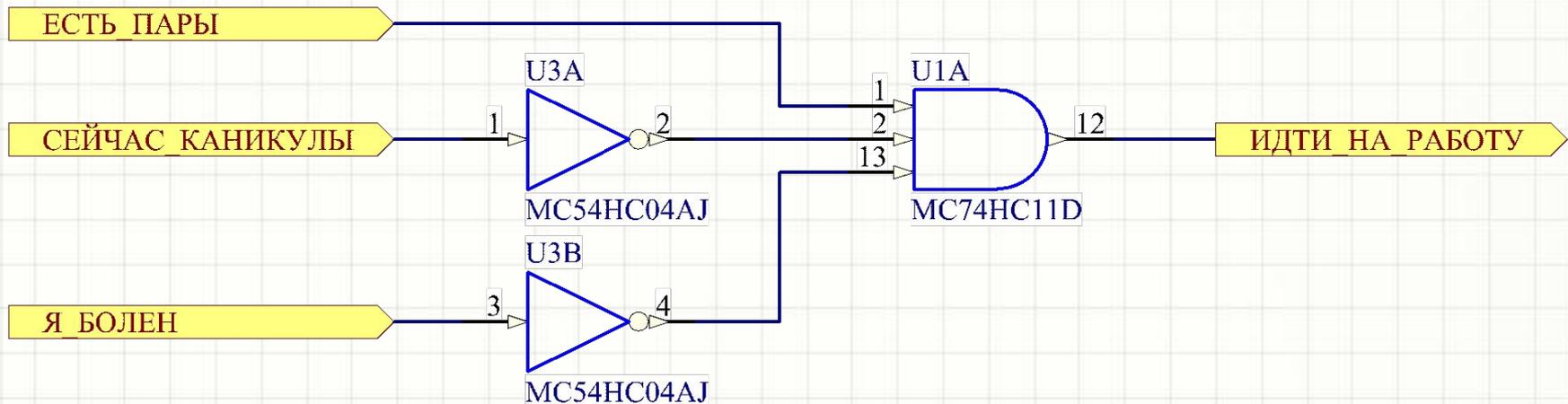
- Основные соотношения:
 - $X \mid 0 = X$
 - $X \mid 1 = 1$
 - $X \mid X = X$
 - $X \mid !X = 1$
 - $X \& 0 = 0$
 - $X \& 1 = X$
 - $X \& X = X$
 - $X \& !X = 0$
- Дистрибутивный закон
 - $X1 \mid (X2 \& X3) = (X1 \mid X2) \& (X1 \mid X3)$
 - $X1 \& (X2 \mid X3) = (X1 \& X2) \mid (X1 \& X3)$
- Законы поглощения
 - $X1 \mid (X1 \& X2) = X1$
 - $X1 \& (X1 \mid X2) = X1$
- Правило склеивания
 - $(X1 \mid X2) \& (!X1 \mid X2) = X2$
 - $(X1 \& X2) \mid (!X1 \& X2) = X2$
- Двойное отрицание
 - $!!X1 = X1$
- Законы де Моргана
 - $!(X1 \& X2) = !X1 \mid !X2$
 - $!(X1 \mid X2) = !X1 \& !X2$
- Исключающее ИЛИ
 - $Y = (X1 \& !X2) \mid (!X1 \& X2)$
- *Все соотношения можно представить как схемы из ЛЭ!*

Комбинаторная логика

- Комбинаторные схемы – такие схемы, где состояния выходов определяются исключительно текущими состояниями входов
- Для синтеза комбинаторных схем, как известно, используют:
 - Уравнения алгебры логики
 - Карты Карно
 - СКНФ и СДНФ
 - ...
- Но на практике проще использовать обычный человеческий язык и немного воображения

Комбинаторная логика - СИНТЕЗ

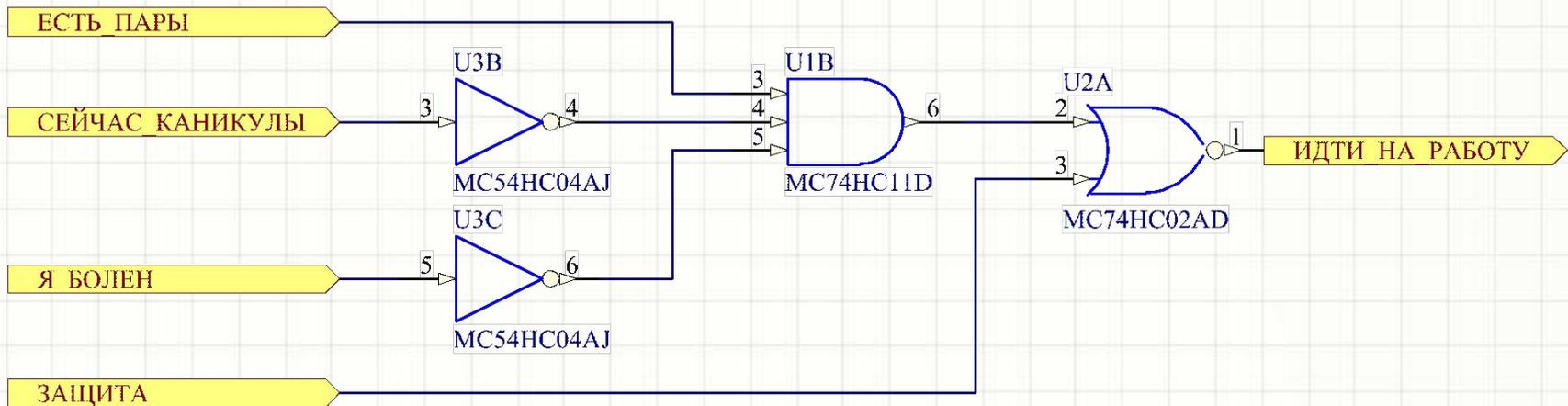
- Сформулируем задачу: *мне нужно идти на работу, если у меня в этот день недели есть пары **И** сейчас в университете **НЕ** период каникул **И** если я **НЕ** болен :*



- Под уровнем лог. «1» понимаем истинность утверждения, под лог. «0» - ложность

Комбинаторная логика - СИНТЕЗ

- Усложним принятие решения: если сегодня защита диссертации, идти нужно в любом случае:



- Сигнал «идти на работу» может включить индикатор или звук будильника...

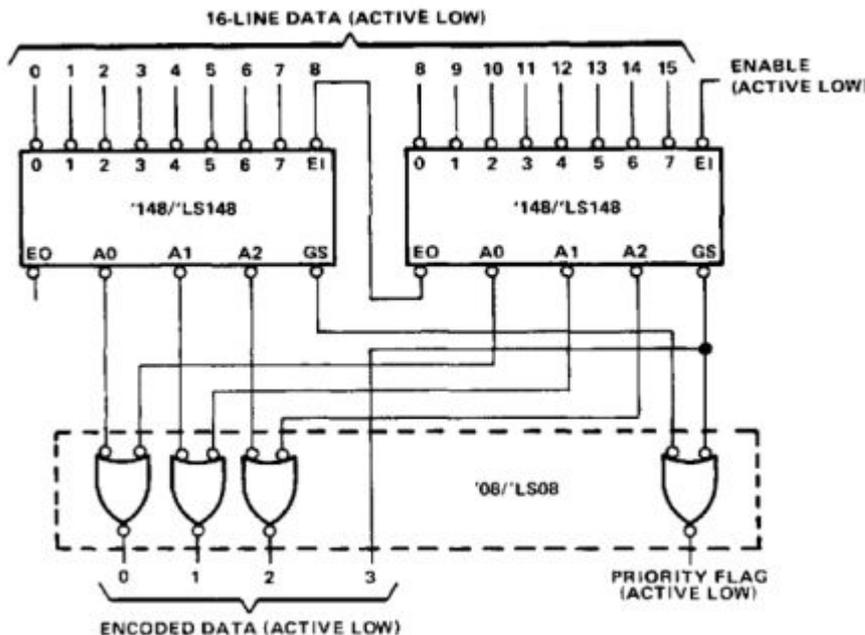
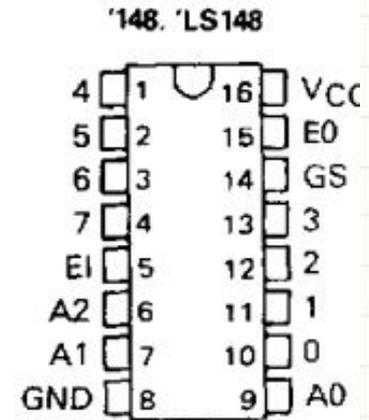
Сложные комбинаторные узлы

- Шифраторы и дешифраторы
 - Преобразуют позиционный одноединичный код в двоичный и обратно
 - Одноединичный код – такой код, где число кодируется включением одного сигнала из нескольких (например, кнопки вызова лифта – позиционный код!)



Шифраторы

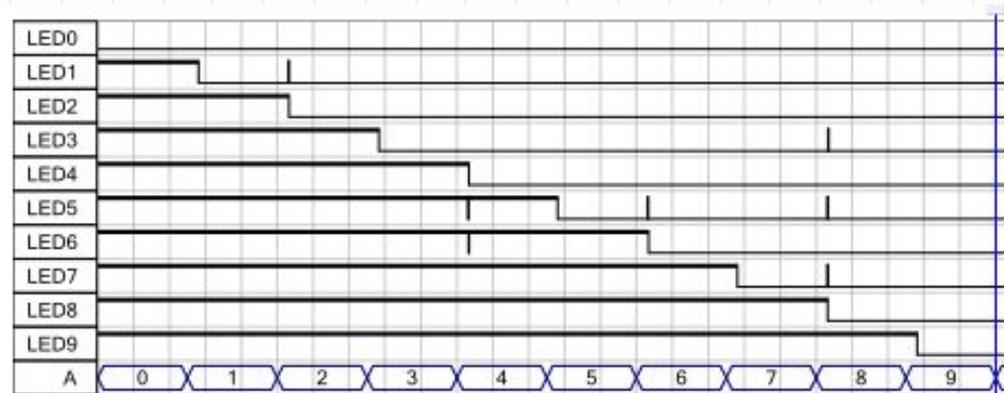
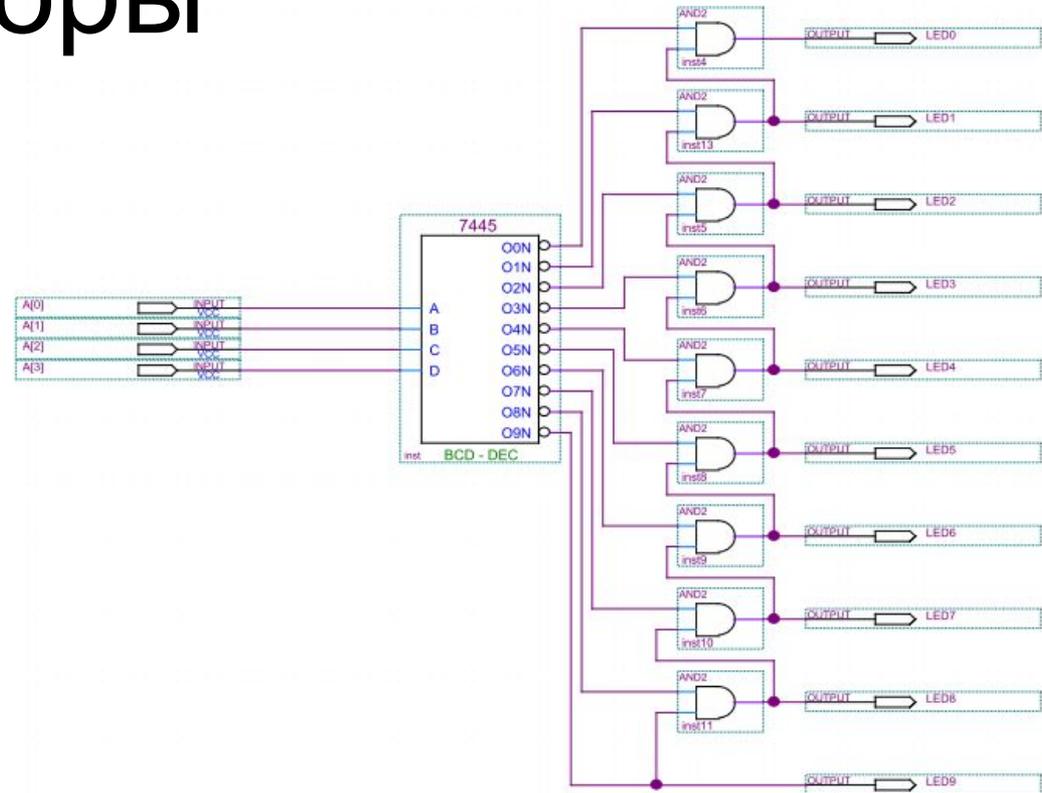
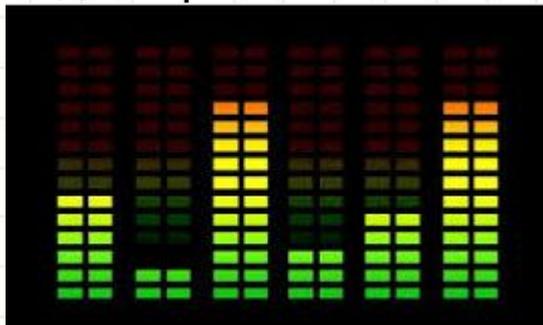
- Похожий шифратор – 74148 шифрует 8 входов в 3 выхода
- Избыточных состояний выходов нет



- Есть вход (E1, Expansion input) и выход (EO, Expansion output) для **каскадирования** – увеличения разрядности

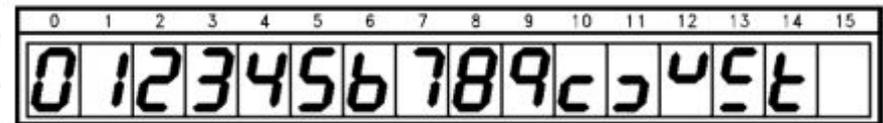
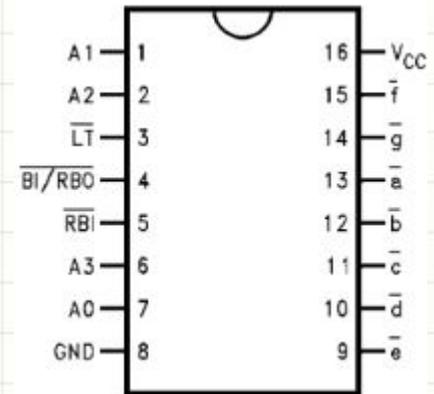
Дешифраторы

- На дешифраторе 7445 можно легко построить **шкальный индикатор**, дополнив выходы логическим элементом
- За счет цепочки ЛЭ «старший» выход зануляет все младшие выходы
- Если лог. «0» на выходах LEDn схемы на рисунке включает светодиод, то число на входе будет управлять высотой «столбика» включенных индикаторов



Дешифраторы

- Существует специальная разновидность дешифраторов – драйверы для управления семисегментными индикаторами, например, 7447
- **Они нужны всем**, у кого есть такие индикаторы в задании
- На входе – двоично-десятичное число
- На выходе – логические уровни «0» для тех сегментов, которые требуется включить для отображения числа на индикаторе
- Выходы – с открытым коллектором, высоковольтные, с большой нагрузочной способностью

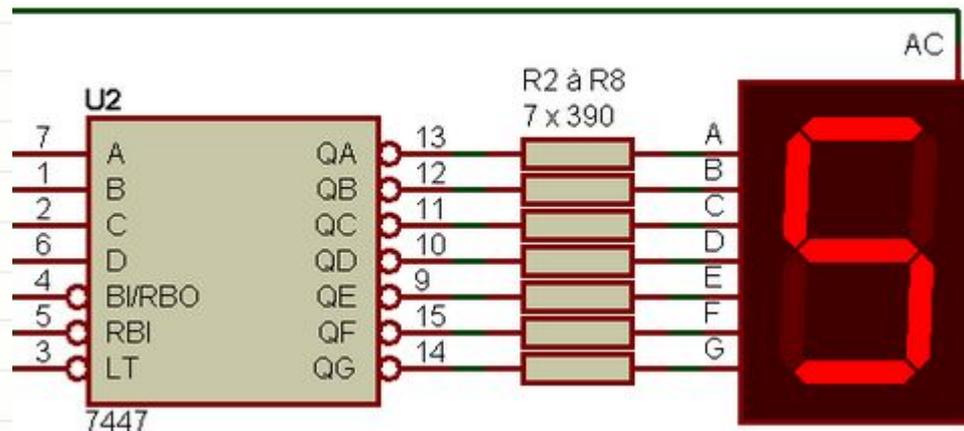


Truth Table

Decimal or Function	Inputs							Outputs						
	LT	RBI	A3	A2	A1	A0	BI/RBO	a	b	c	d	e	f	g
0	H	H	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	H
1	H	X	L	L	L	H	H	H	L	L	H	H	H	H
2	H	X	L	L	H	L	H	L	L	H	L	L	H	L
3	H	X	L	L	H	H	H	L	L	L	L	H	H	L
4	H	X	L	H	L	L	H	H	L	L	H	H	L	L
5	H	X	L	H	L	H	H	L	H	L	L	H	L	L
6	H	X	L	H	H	L	H	H	H	L	L	L	L	L
7	H	X	L	H	H	H	H	L	L	L	H	H	H	H
8	H	X	H	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L
9	H	X	H	L	L	H	H	L	L	L	H	H	L	L
10	H	X	H	L	H	L	H	H	H	H	L	L	H	L
11	H	X	H	L	H	H	H	H	H	L	L	H	H	L
12	H	X	H	H	L	L	H	H	L	H	H	H	L	L
13	H	X	H	H	L	H	H	L	H	H	L	H	L	L
14	H	X	H	H	H	L	H	H	H	H	L	L	L	L
15	H	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
BI	X	X	X	X	X	X	L	H	H	H	H	H	H	H
RBI	H	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
LT	L	X	X	X	X	X	H	L	L	L	L	L	L	L

Дешифраторы

- 7447 подразумевает, что ею будет управляться 7-сегментный индикатор с общим анодом
- Дополнительные входы и выходы 7447:
 - LT – Lamp test. Лог. «0» на этом входе включает все сегменты
 - RBI – ripple-blanking input. Если ABCD = 0, лог. «0» на RBI выключает все сегменты
 - BI/RBO – вход/выход (внутренняя цепь с высокоимпедансным источником логического уровня), вместе с RBI других индикаторов служит для подавления ведущих/конечных нулей при индикации многоразрядного числа
- Если подавление нулей не нужно, RBI подключается к VCC, BI/RBO не подключается никуда



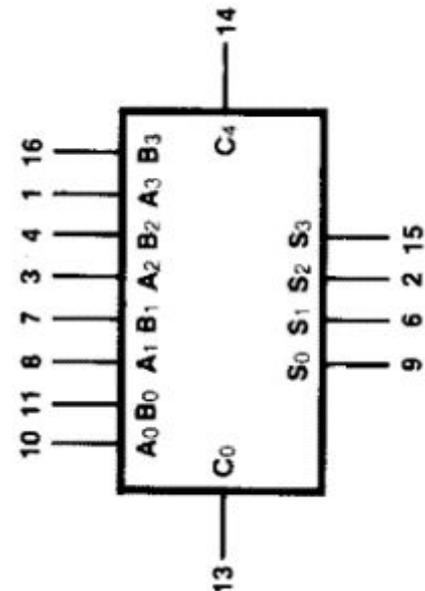
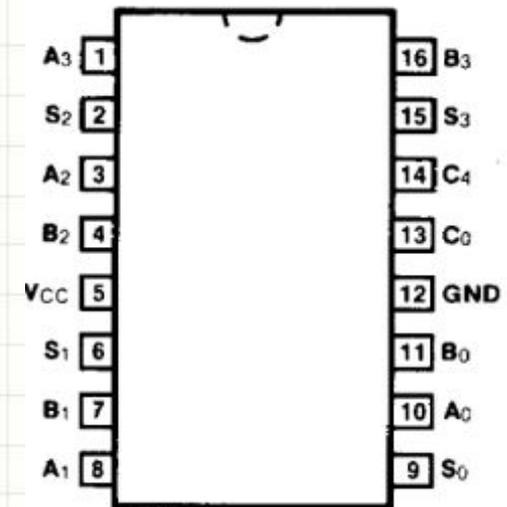
- Если нужно подавление ведущих нулей, RBI старшего дешифратора подключается к GND, BI/RBO – ко входу RBI более младшего и т.д. до самого младшего
- Подключение BI/RBO к лог. «0» принудительно отключает все сегменты

Сумматоры

- Сумматоры предназначены для сложения чисел и могут понадобиться буквально в 1-2 вариантах К/Р
- Как и шифраторы-дешифраторы, обычно их требуется каскадировать для увеличения разрядности
- Для каскадирования есть специальный **вход переноса**: лог. «1» на этом входе «прибавит» 1 к результату сложения
- Для каскадирования есть и **выход переноса**: при переполнении в результате сложения на это выходе возникнет лог. «1» для переноса в старшем разряде
- Выходы каскадирования младших разрядов подключают ко входам каскадирования старших
- Вход каскадирования самого младшего разряда заземляют
- Подвид сумматора – полусумматор – не имеет входа для каскадирования

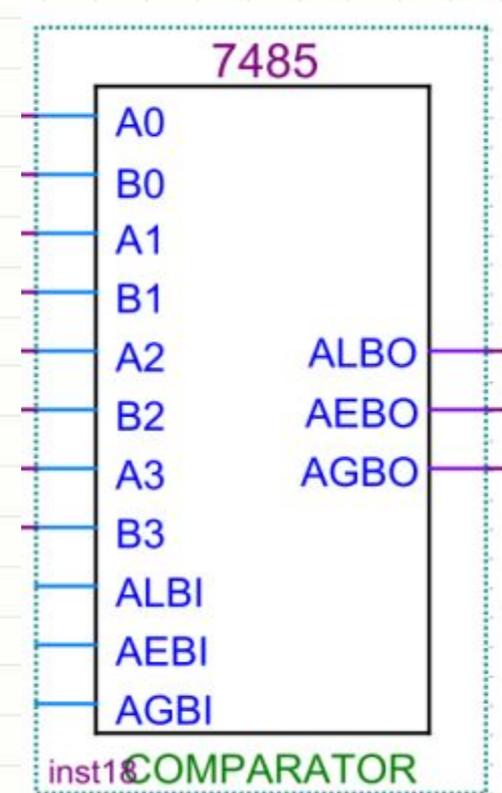
Сумматоры

- Пример двоичного сумматора – 7483:
 - Число разрядов – 4
 - Операнды сложения – $A[3..0]$ И $B[3..0]$
 - Результат сложения в разрядах – $S[3..0]$
 - Вход переноса – C_0
 - Выход переноса – C_4
- Алгоритм работы сумматора похож на алгоритм сложения в столбик, но знакоместа – двоичные
- Сумматор умеет и вычитать – дополнительный код – *наш (человеческий)* способ использования чисел, схемотехника о нем не подозревает



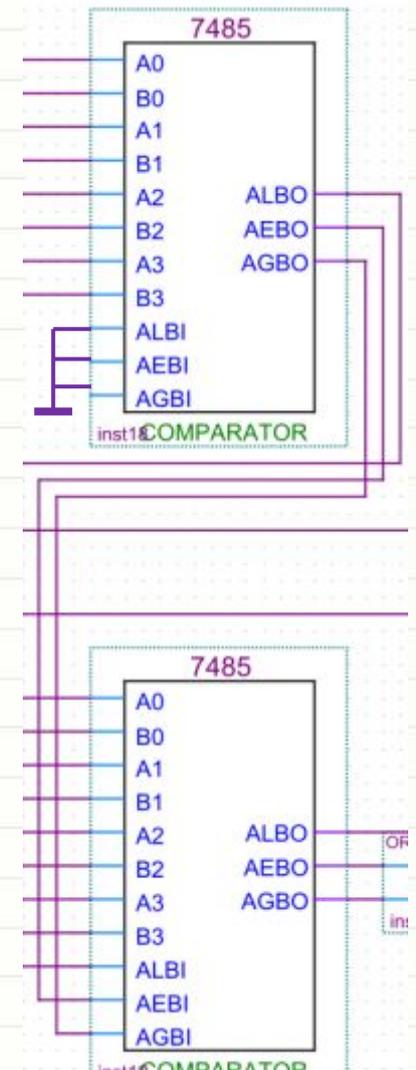
Компараторы

- От англ. «Compare» – сравнивают числа
- Так же имеют входы для каскадирования (увеличения разрядности)
- Пример компаратора – 7485:
 - $A[3..0]$ – операнд сравнения №1
 - $B[3..0]$ – операнд сравнения №2
 - A_{LBO} (A less than B output) – выход, где формируется лог. «1» если $A < B$
 - A_{EBO} – если $A = B$ (equal)
 - A_{GBO} – если $A > B$ (greater)
 - $A[L/E/G]BI$ – входы для увеличения разрядности



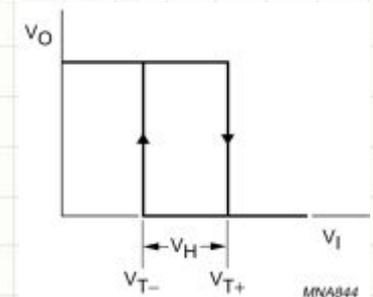
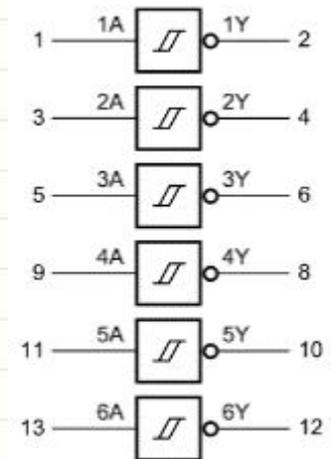
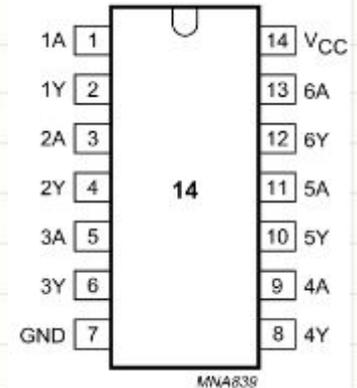
Компараторы

- При каскадировании:
 - Входы каскадирования младшего компаратора заземляются
 - Выхода младшего подключаются ко входам каскадирования более старшего
- Применение компаратора:
 - Включить сигнал будильника, когда время окажется РАВНЫМ установленному
 - Включить лампу светофора согласно заданию с интервал времени, например, 10...20 сек. на циклограмме (...если время с начала работы больше **ИЛИ** равно 10 И меньше 20...)
 - и т.д.



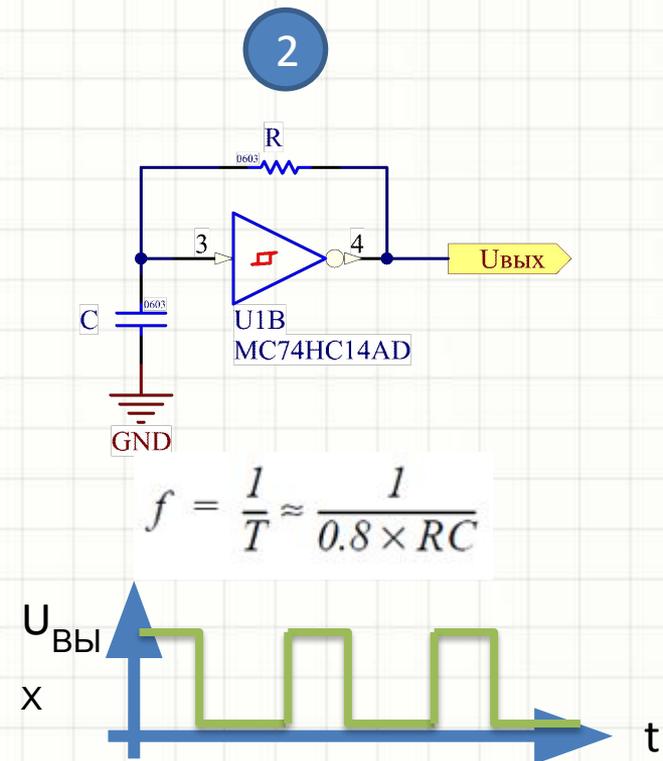
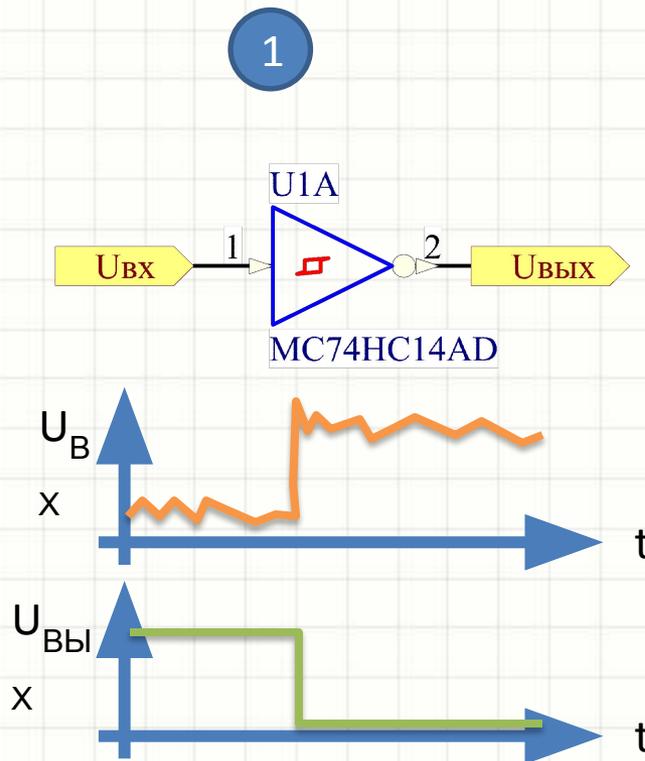
Триггер Шмитта

- Функциональный аналог инвертирующего компаратора на ОУ с фиксированными порогами переключения
- Самая популярная микросхема – 74НС14
 - Содержит шесть инвертеров с гистерезисными входами
 - Пороги переключения (мин / ном / макс) при нормальной температуре и $V_{CC} = 4.5 \text{ В}$:
 - $V_{T+} = 1.2 / 1.4 / 1.9 \text{ В}$
 - $V_{T-} = 0.5 / 0.85 / 1.2 \text{ В}$



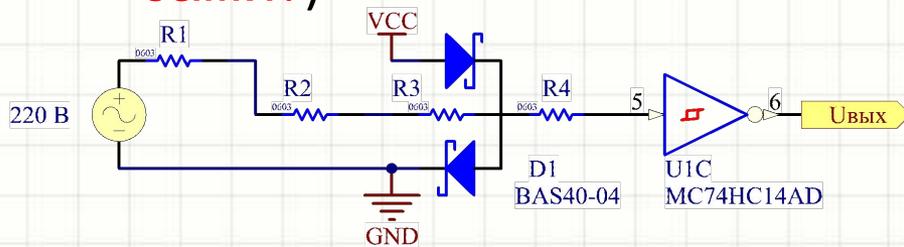
Триггер Шмитта

- Применение триггера Шмитта:
 1. Защита входных сигналов схемы от шумов и ложных срабатываний
 2. Самый простой из существующих и надежный мультивибратор (полный аналог мультивибратора на аналоговом компараторе)

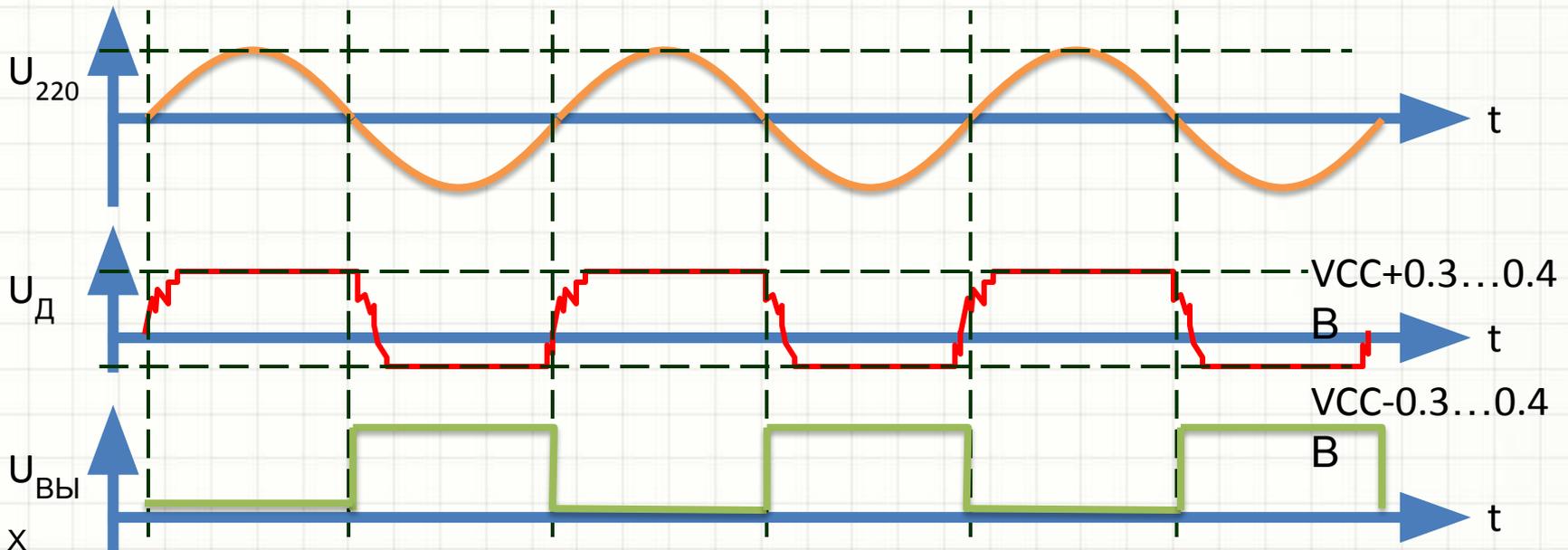


Триггер Шмитта

- Применение триггера Шмитта: схема определения «нулей» питающей сети (**на схеме ошибка... найдёте сами?**)

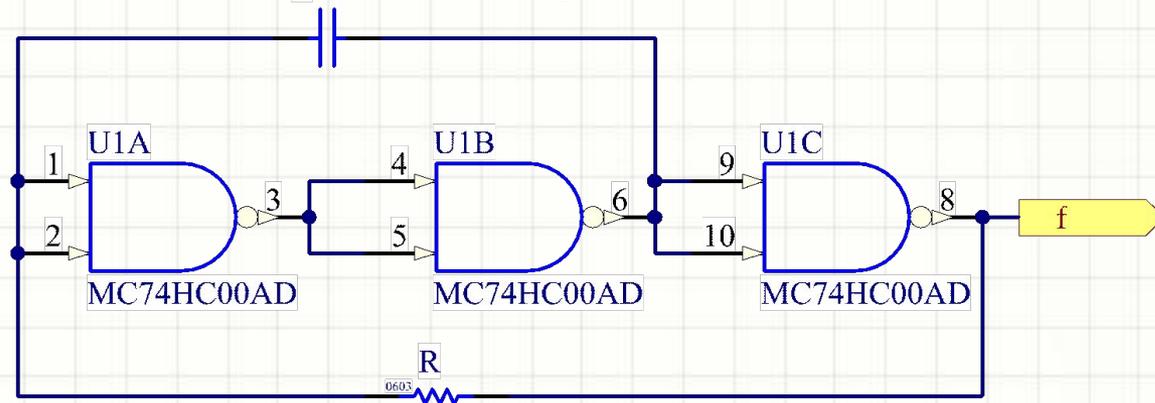


- R1-R3 – суммарно 300-500 кОм, несколько штук - в случае, если резисторы низковольтные
- Также можно добавить конденсатор 100-200 пФ, сформировав ФНЧ



Мультивибраторы на ЛЭ

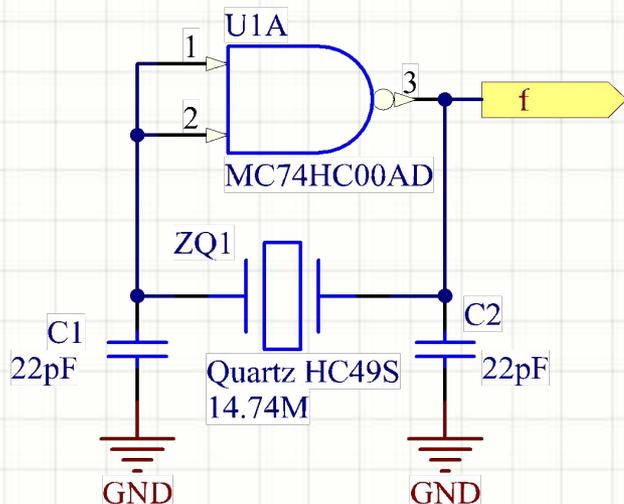
- Еще одна популярная схема генератора импульсов строится на трех элемента НЕ или, скажем, 2И-НЕ
- Период колебаний – $(1.5 \dots 1.8) \cdot R \cdot C$ в зависимости от серии логической микросхемы



- Существует еще множество схем генераторов прямоугольных импульсов на логике
- Выбрать конкретную схему и ЛЭ для нее проще всего оценив, какие неиспользованные ЛЭ у вас остались после создания всей схемы

Точные генераторы частоты

- Генераторы с точным значением частоты и высокой стабильностью строятся на кварцевых резонаторах
- На частоты в несколько МГц для схемы достаточно использовать один элемент НЕ (И-НЕ, ИЛИ-НЕ)
- Генератор работает на номинальной частоте резонатора
- Набор частот резонаторов довольно широкий

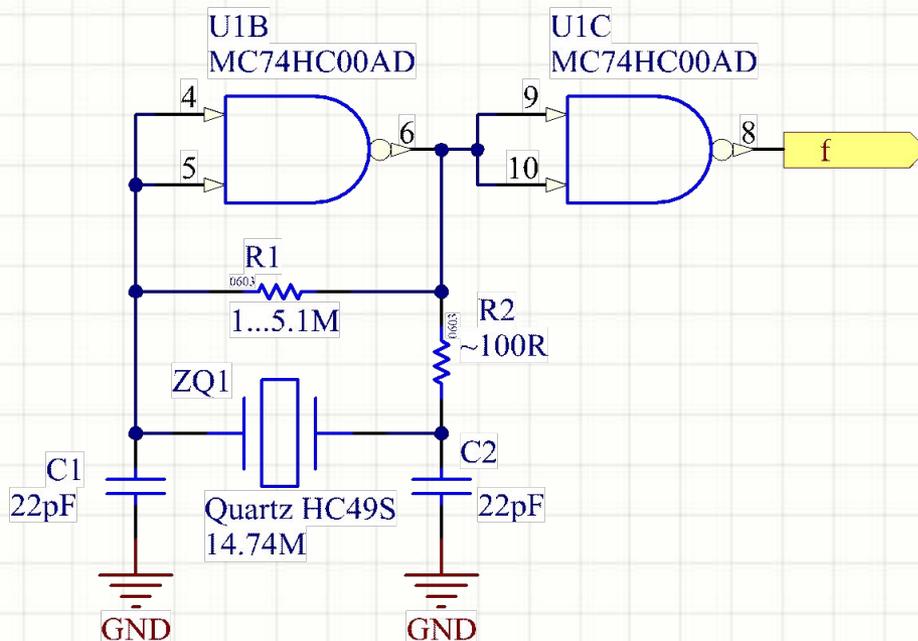


- Наиболее популярны кварцевые резонаторы в корпусе HC49U или HC49S:



Точные генераторы частоты

- Иногда показанную схему дополняют парой резисторов и буферным ЛЭ
- Это позволяет повысить стабильность запуска и работы генератора: ЛЭ «изолирует» цепи генератора от потребителей генерируемого сигнала:



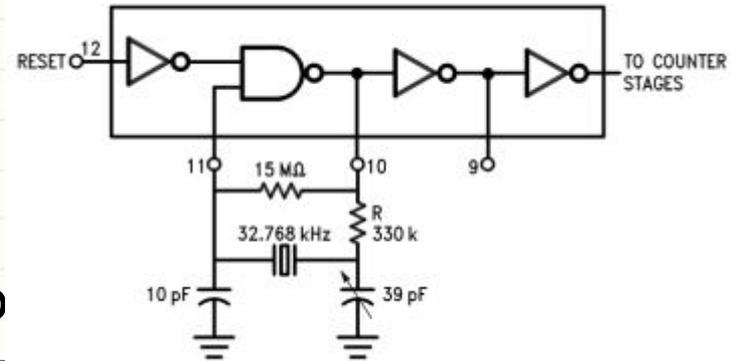
- Номинал емкостей C1 и C2, строго говоря, указывается в документации на резонатор
- В 99.999% случаев для резонаторов на несколько МГц эти емкости – 18...22 пФ

Генератор на 1 Гц

- Все курсовые проекты, где в задании присутствует время, требуют точного генератора частоты 1 или 2 Гц для измерения секундных интервалов
- Строить такие генераторы на RC-цепях нельзя – они неточны!
- Построить такой генератор на высокочастотном кварце (скажем, 1 МГц) можно, но тогда для получения секундных интервалов придется делить частоту на миллион
- Для решения задачи чаще используют резонаторы на частоту 32 768 Гц.
 - Почему такая «странная» частота?

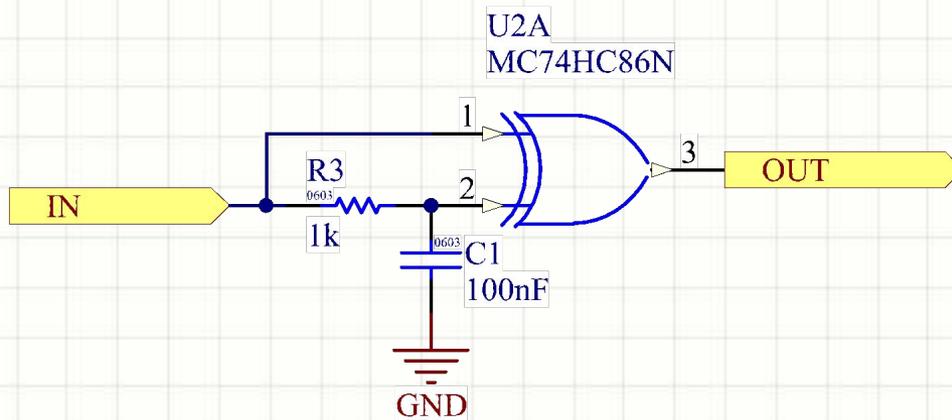
Генератор на 1 Гц

- 32768 – это 2^{15} , т.е., с одной стороны, технологически сделать такой кварц еще можно, а с другой стороны, для получения частоты в 1 Гц нужно «поделить» опорную частоту 15-разрядным счетчиком
- Готовое решение для такой задачи – микросхема CD4060 – ЛЭ и 14-разрядный асинхронный счетчик в одном корпусе
- Схема самого генератора
- Вред для кварцевого резонатора – довольно низкая частота, для 768битльного запуска генератора нужно выдерживать рекомендованные номиналы пассивных компонентов
- Показанный резонатор часто называют «часовым кварцем», а часы, построенные с его применением –

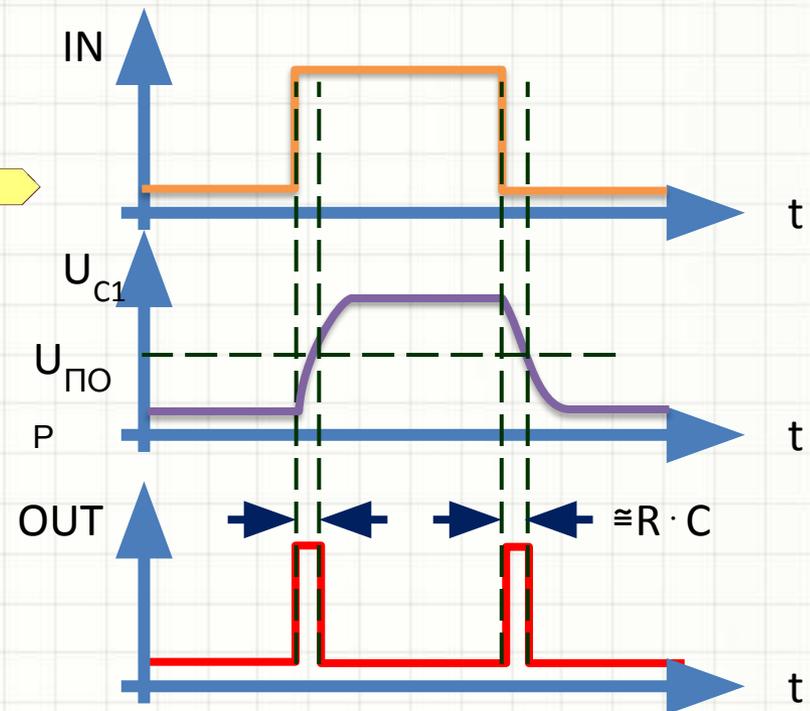


Одновибраторы

- Были описаны в лекциях, в практических схемах используются редко
- Полезна на практике, разве что, асинхронная схема – детектор фронтов входного сигнала:

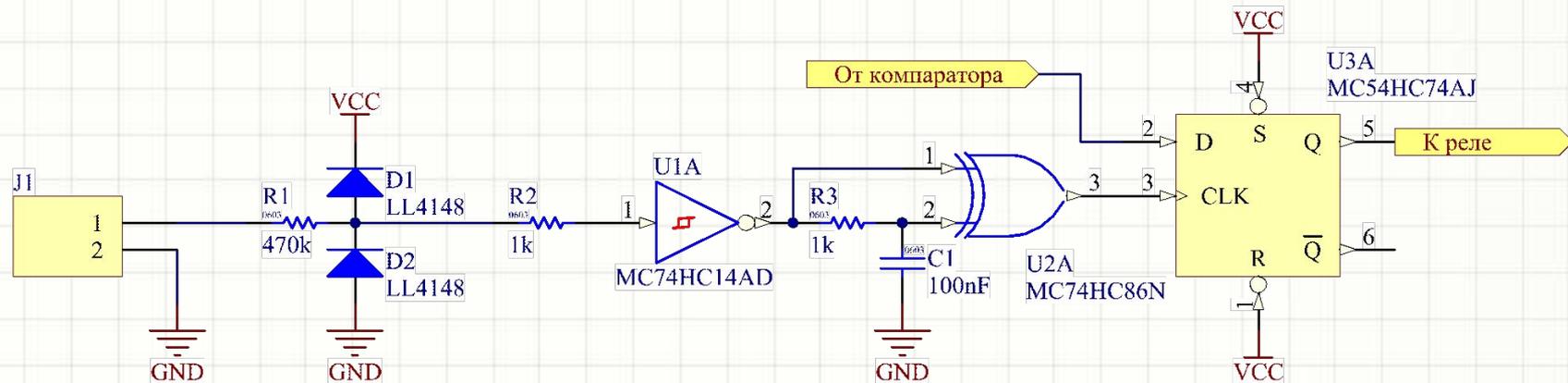


$$\text{XOR: } Y = X1 \cdot \overline{X2} + \overline{X1} \cdot X2$$



Одновибраторы

- Схема выделения фронтов, дополнив схему определения нулей питающей сети, позволяет коммутировать нагрузку 220 В точно в моменты времени, когда значение напряжения в сети нулевое:





**ТЕМА 6: ЦИФРОВЫЕ
МИКРОСХЕМЫ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТНОГО
ТИПА**

Содержание

- Триггеры
- Асинхронная и синхронная логика последовательностного типа
- Начальный сброс
- Счетчики
- Параллельные и сдвиговые регистры
- Клавиатуры, подход «было-стало» и детектирование событий
- Подсчет числа событий

Цифровые устройства последовательного типа

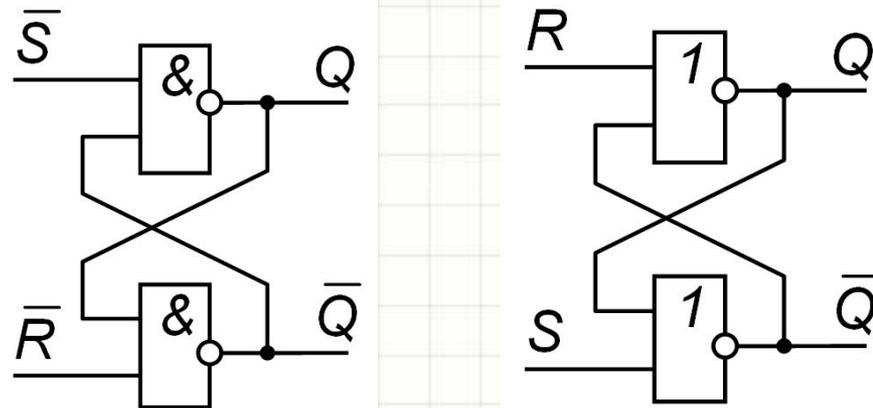
- В комбинаторных схемах состояния выходов определяются только текущим состоянием входов
- В последовательных схемах новое состояние выходов определяется:
 - «Новым» состоянием входов
 - «Предыдущим» состоянием схемы
- Последовательные схемы умеют «помнить» логические уровни (биты) и числа
- *Одного триггера в комбинаторной схеме достаточно, чтобы она стала последовательной*

Триггеры и синхронные цифровые схемы

- Работа комбинаторной схемы или блока описывается таблицей истинности, содержащей только «0» и «1»
- Работу последовательностной схемы можно описать таблицей, содержащей «0», «1» и указания на новые (Q_n) и старые (Q_{n-1}) состояния триггеров (или Q_{n+1}, Q_n)

Триггеры и синхронные цифровые схемы

- Существуют асинхронные и синхронные триггеры
- Простейший асинхронный триггер – RS:



- Подача **активного** уровня (низкого \bar{R} , \bar{S} или высокого R , S) мгновенно изменяет состояние триггера

Типы триггеров

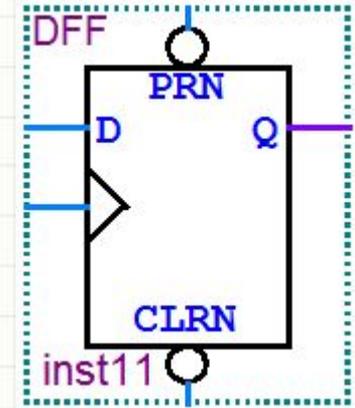
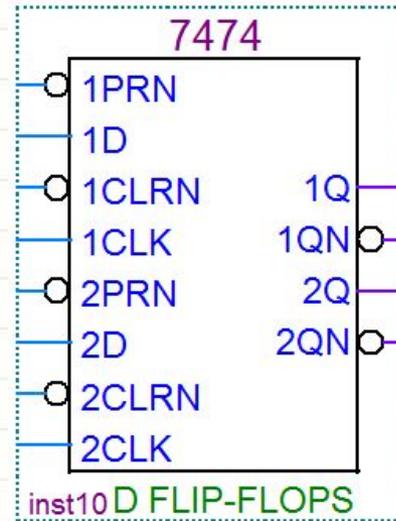
- Вспомним базовые типы триггеров:
 - RS – Reset/Set триггер, устройство со входами установки и сброса. Одновременно подавать сигналы установки и сброса запрещено
 - JK – Jump/Kill (keep?) триггер. J – установка, K – сброс, J+K – инверсия (toggle)
 - T – Toggle (инверсия)
 - D – Data (запоминающий) триггер. По команде триггер запоминает бит на входе D и выводит его на выход Q
- У большинства триггеров два выхода, прямой Q и инверсный \bar{Q}

Типы триггеров

- Триггеры бывают:
 - Асинхронные. Состояние триггера меняется подачей активных (0 или 1) уровней в любой момент времени. У асинхронного JK-триггера:
 - J в любой момент устанавливает $Q=1$
 - K в любой момент сбрасывает $Q=0$
 - J+K в любой момент инвертируют Q
 - Синхронные. Такие триггеры имеют тактовый вход C. Уровни входов J и K на что-то влияют только в момент перехода 0-1 (фронта) C
 - Комбинированные. Часто входы – синхронные, часть – асинхронные. Таких триггеров большинство

Триггеры и синхронные цифровые схемы

- На практике триггеры на ЛЭ никто не строит – используют готовые микросхемы-триггеры
- Обычно это не просто классические RS- D- или JK-

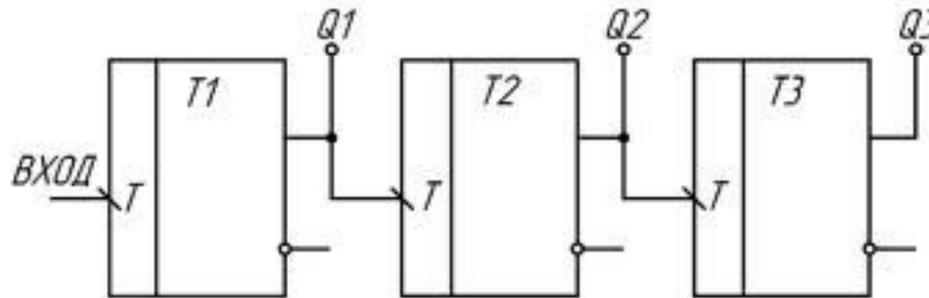


- Синхронные триггеры имеют **тактовый** вход (C, CLK и т.д., часто обозначается чертой «/» или символом □)
- Пример – микросхема 74НС74*: логический уровень на входе D «запоминается» триггером по **фронту** тактового сигнала C (CLK) и доступен на Q
- Входы \bar{S} (PRN) и \bar{R} (CLR N), тем не менее, асинхронные – подача активного (низкого) уровня в любой момент меняет состояние триггера

* **Примечание:** любой курсовик можно легко сделать, используя триггер только этого типа!

Триггеры и синхронные цифровые схемы

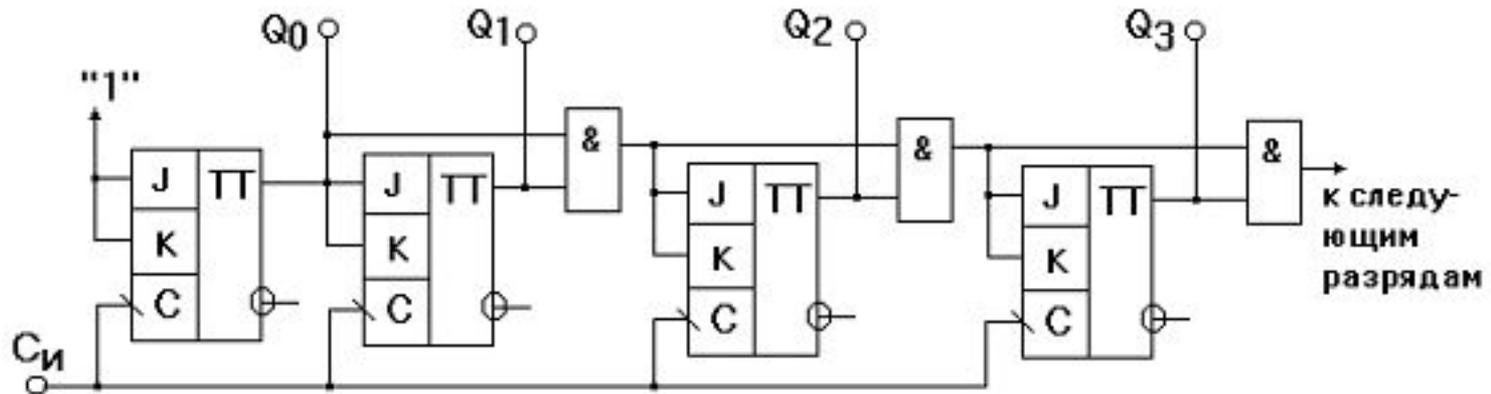
- На триггерах синхронного типа можно строить как асинхронные схемы, так и синхронные
- Пример схемы простейшего асинхронного счетчика:



- Главный недостаток: по мере продвижения от младших (Q0) к старшим (Q3) выходам накапливается задержка:
 - Сначала тактовый импульс инвертирует триггер T1
 - Затем выход триггера T1 инвертирует триггер T2, T2 – T3 и т.д.
- Чем больше разрядов у счетчика, тем большая задержка накапливается

Триггеры и синхронные цифровые схемы

- Пример схемы синхронного счетчика:



- На такте 1 инвертируется триггер №1 и подает сигнал разрешения на триггер №2
- К моменту подачи такта №2 сигнал разрешения уже присутствует на триггере №2 и триггеры №1 и №2 инвертируются синхронно
- ...
- Максимальная тактовая частота ограничена лишь суммарной задержкой через элементы «И»

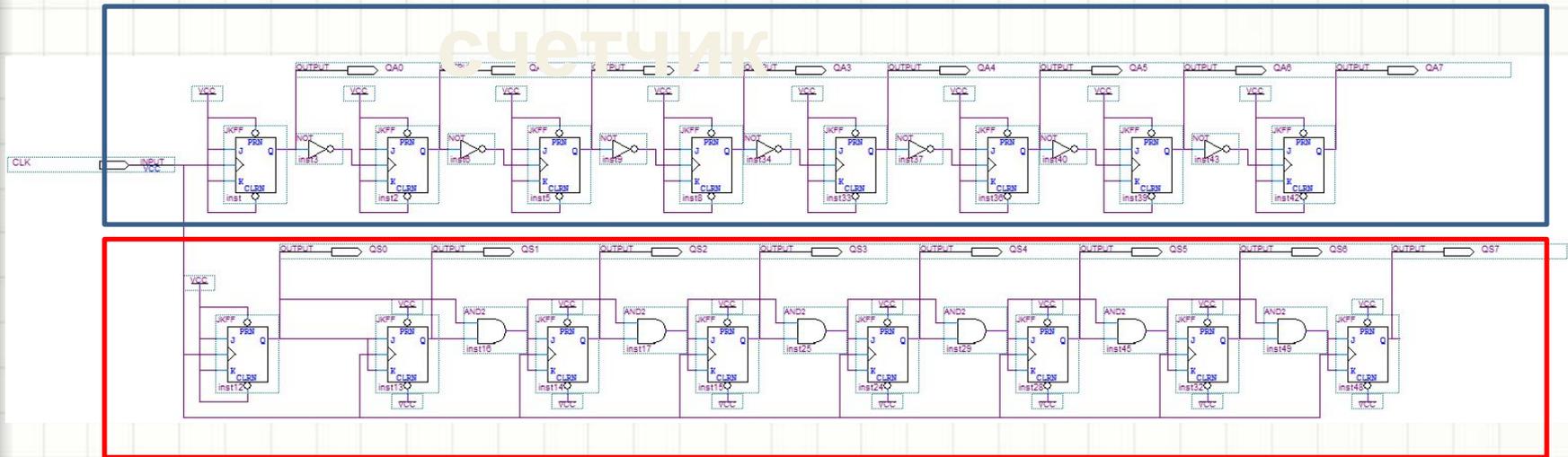
Триггеры и синхронные цифровые схемы

- Рассмотрим результаты моделирования двух 8-разрядных счетчиков на триггерах: асинхронного и синхронного
- Оба счетчика созданы на триггерах, аналогичных микросхемам 7470 (JK-триггер с асинхронными сбросом и установкой)
- Тактовый импульсы – вход схемы CLK, выходы асинхронного счетчика – QA[7..0], синхронного – QS[7..0]

Триггеры и синхронные цифровые схемы

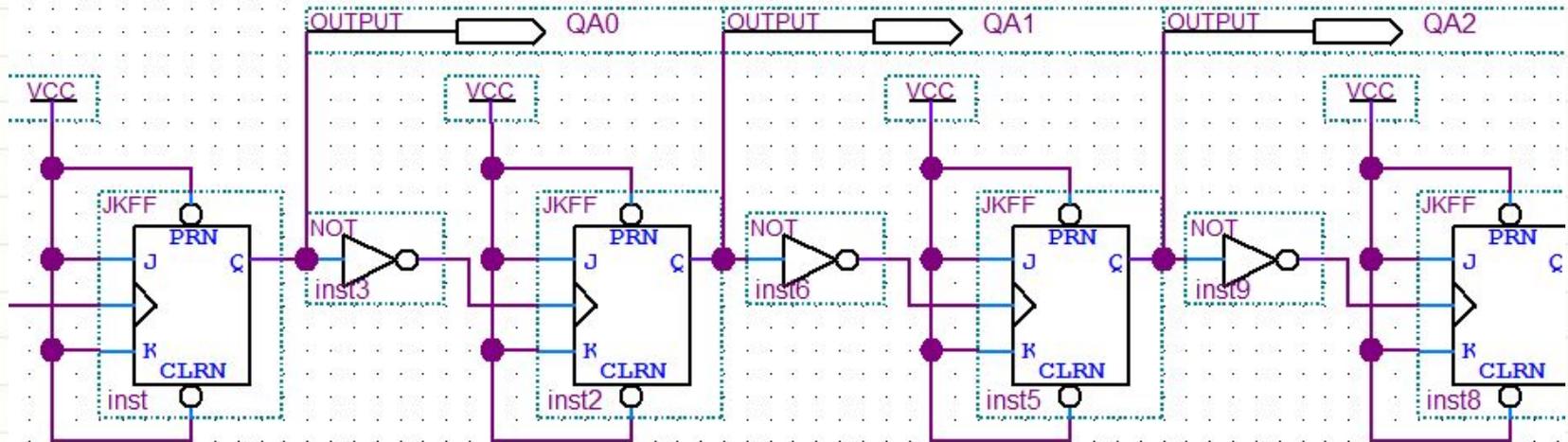
Асинхронный

счетчик



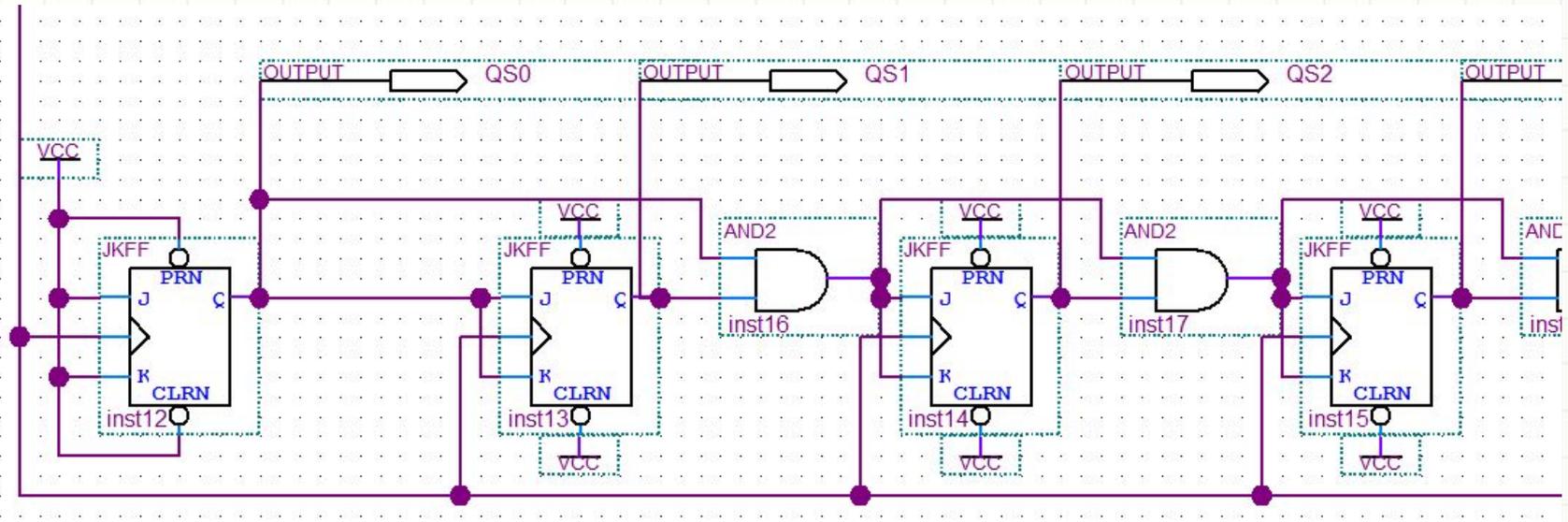
Синхронный
счетчик

Асинхронный счетчик



- Выход предыдущего триггера тактирует следующий триггер
- Сигнал на тактовом входе следующего триггера отличается от предыдущего (запаздывает)

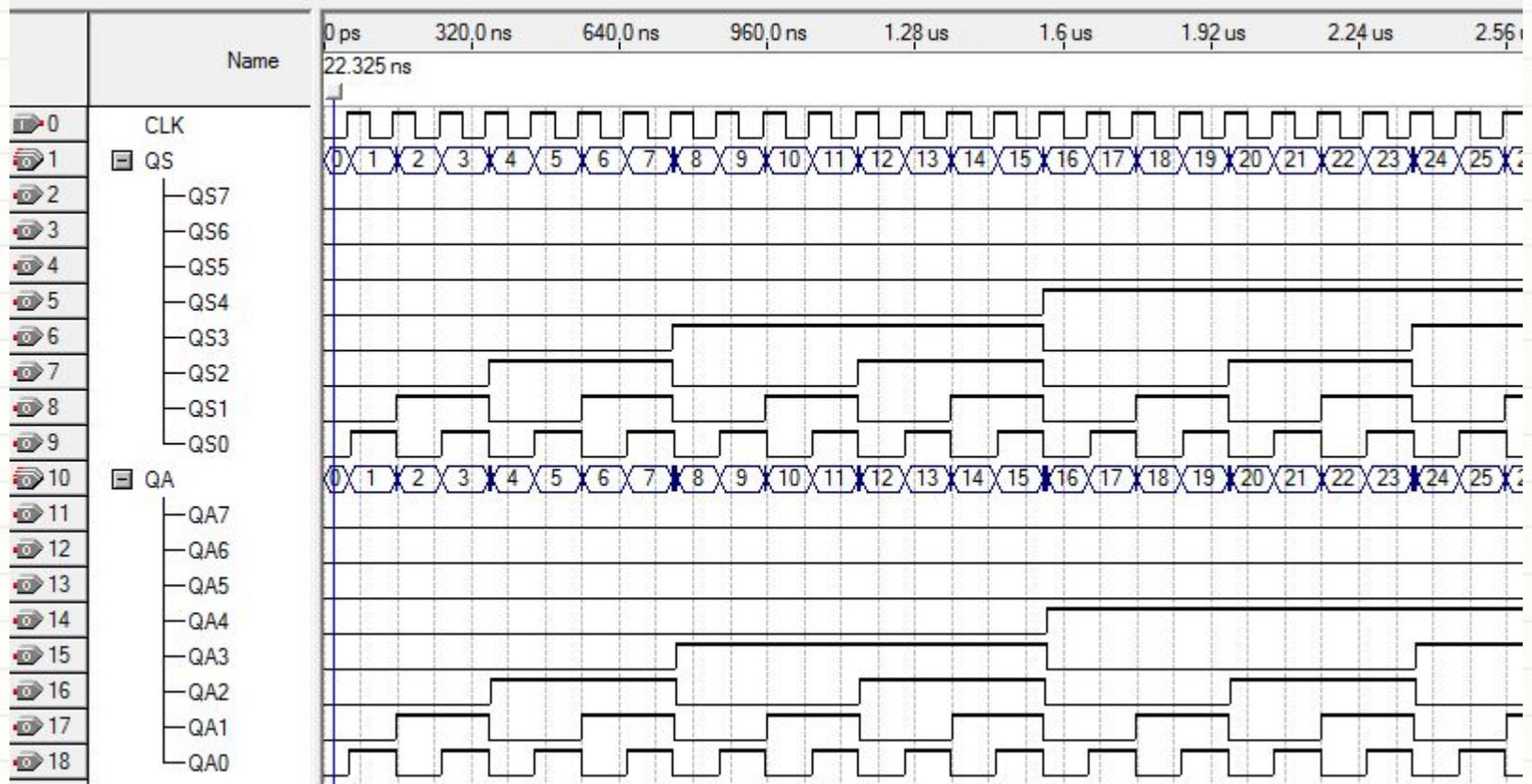
Синхронный счетчик



- Все триггеры тактируются от единого источника тактовых импульсов
- Выход предыдущего триггера разрешает следующему изменить свое состояние

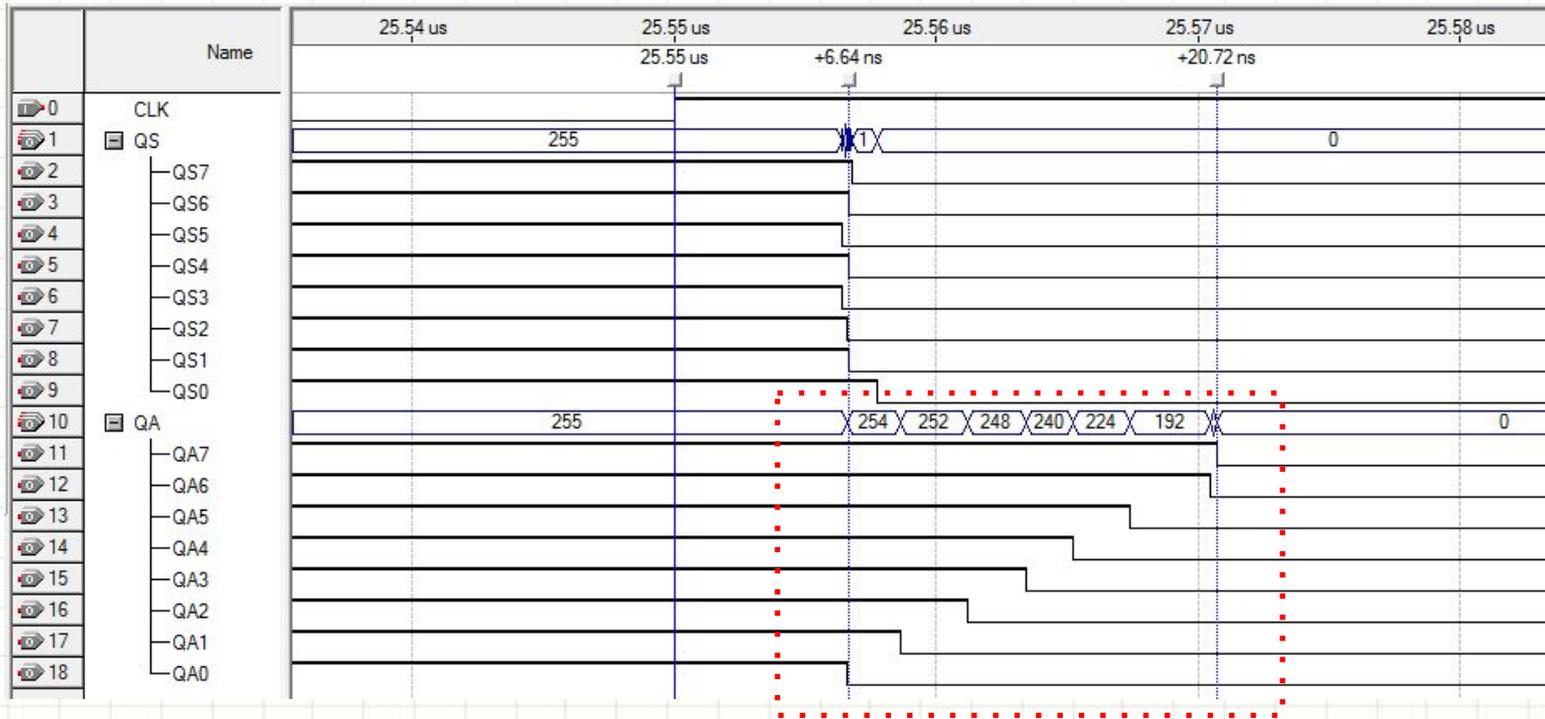
Результаты моделирования

- На первый взгляд, тактовые диаграммы счетчиков идентичны:



Результаты моделирования

- В действительности...



- При тактовой частоте 10 МГц (100 нс) через 25.5 мкс оба счетчика переполняются (метка времени 1)

Результаты моделирования

- Синхронный счетчик (QS[7..0]) изменяет число на выходе 255 -> 0 за 6 нс
 - Все триггеры переключаются в 0 примерно одновременно: небольшие расхождения определяются конечной скоростью распространения сигналов в схеме
- Асинхронный счетчик (QA[7..0]), при том же быстродействии триггеров, тратит на это свыше 20 нс,
 - На его выходе формируется «волна» логических переходов 1 -> 0
 - Неодновременность переключения триггеров – фундаментальная особенность асинхронной логики

Выводы

- Вся надежная, быстрая и современная цифровая техника – **синхронная**
- Синхронная логика реализует принцип конвейера: *«даже если 1 автомобиль собирается в течение дня, новые автомобили с конвейера сходят каждые 3 минуты»*
- Асинхронная логика не использует конвейеризации: *«автомобили собираются по одному»*
- **Синхронная цифровая схема это такая схема последовательного типа, в которой все триггеры синхронные и тактируются одним источником тактовых импульсов. Изменение состояния триггеров происходит одновременно, по фронту тактового сигнала. Не происходит накопления задержки тактовых импульсов по мере движения от входных цепей схемы к выходным.**

Выводы

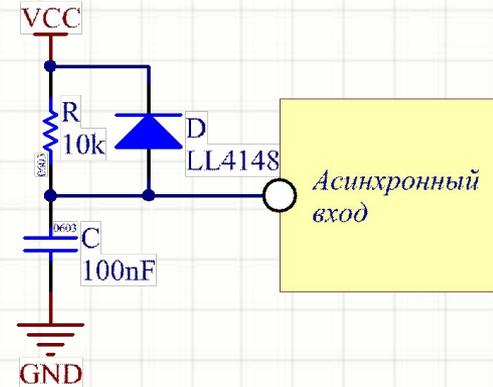
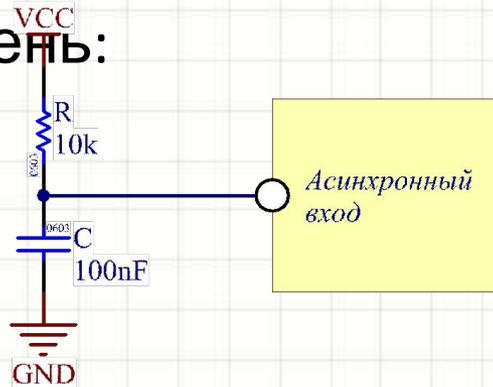
- Как гарантировать, что созданная схема – синхронная?
 - Не использовать асинхронные входы сброса и установки триггеров, сброса и записи счетчиков, кроме как для **начального сброса схемы**
 - Не использовать асинхронные счетчики (англ. Ripple Counters) и асинхронные регистры
 - **Все тактовые входы всех синхронных микросхем подключить исключительно и напрямую к одному генератору тактовых импульсов**

Начальный сброс

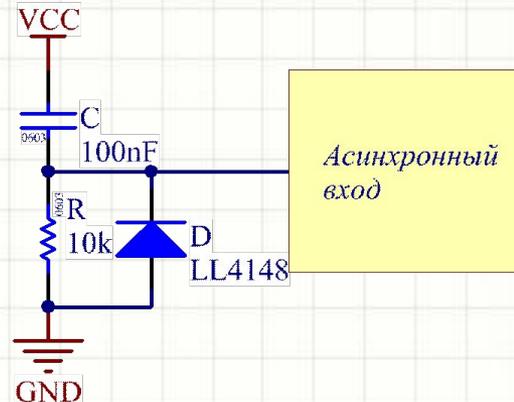
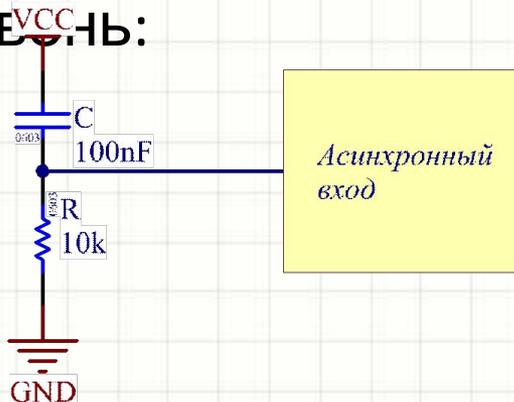
- Единственная функция, для которой можно и нужно использовать асинхронные входы управления последовательными узлами
- Смысл **начального сброса**: сделать так, чтобы после подачи питания триггеры (в т.ч. в составе других ИМС) содержали известные значения
- Для начального сброса используются:
 - Входы R и S триггеров
 - Входы асинхронной загрузки/сброса/установки счетчиков
- Другое название начального сброса – **инициализация** схемы

Начальный сброс

- Если асинхронный вход имеет низкий активный уровень:



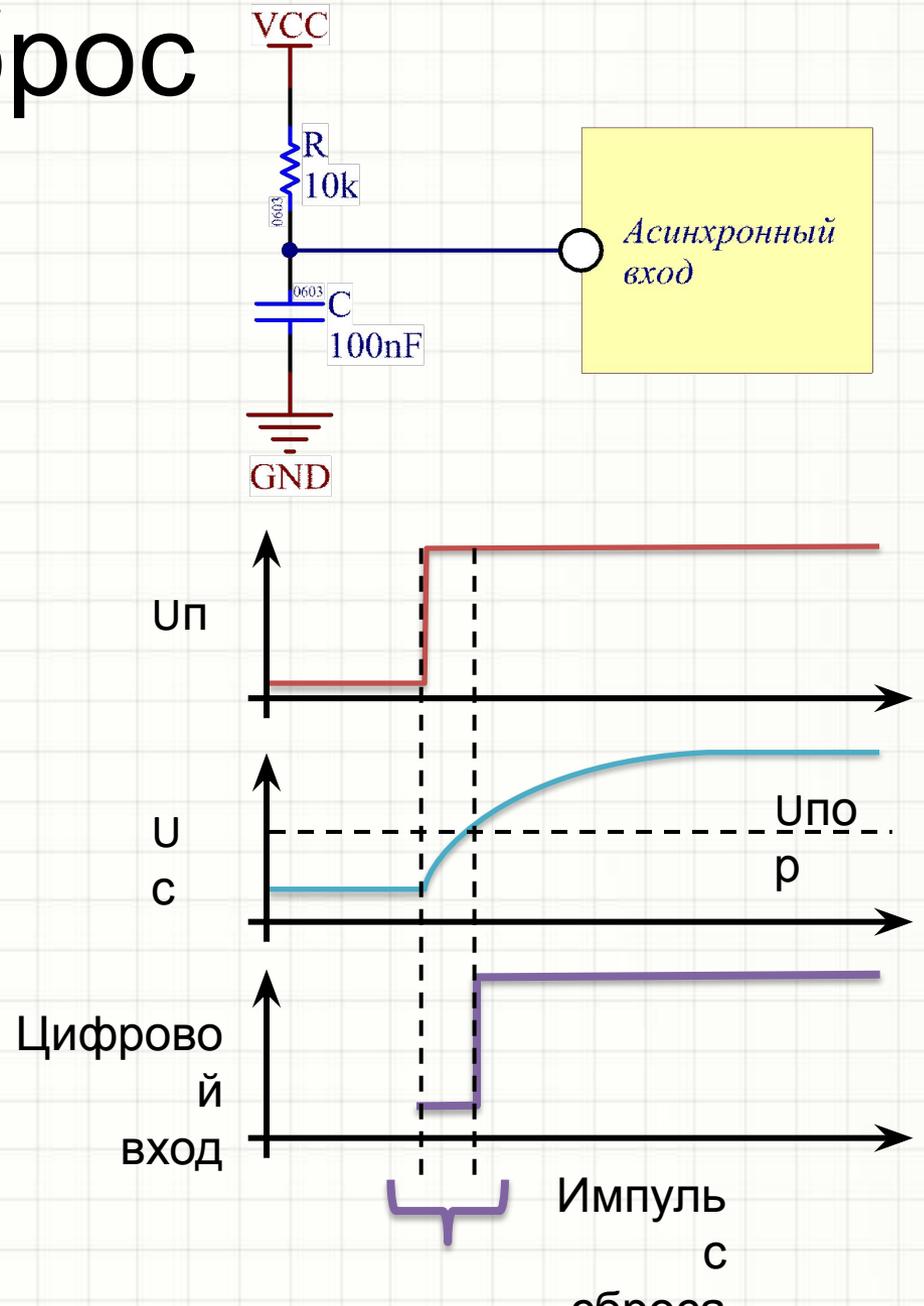
- Если асинхронный вход имеет высокий активный уровень:



- Диоды служат для быстрой разрядки конденсатора при кратковременном отключении питания.
- Обычно достаточно одной такой цепи на все ИМС, либо напряжение цепи буферизуется логическим элементом

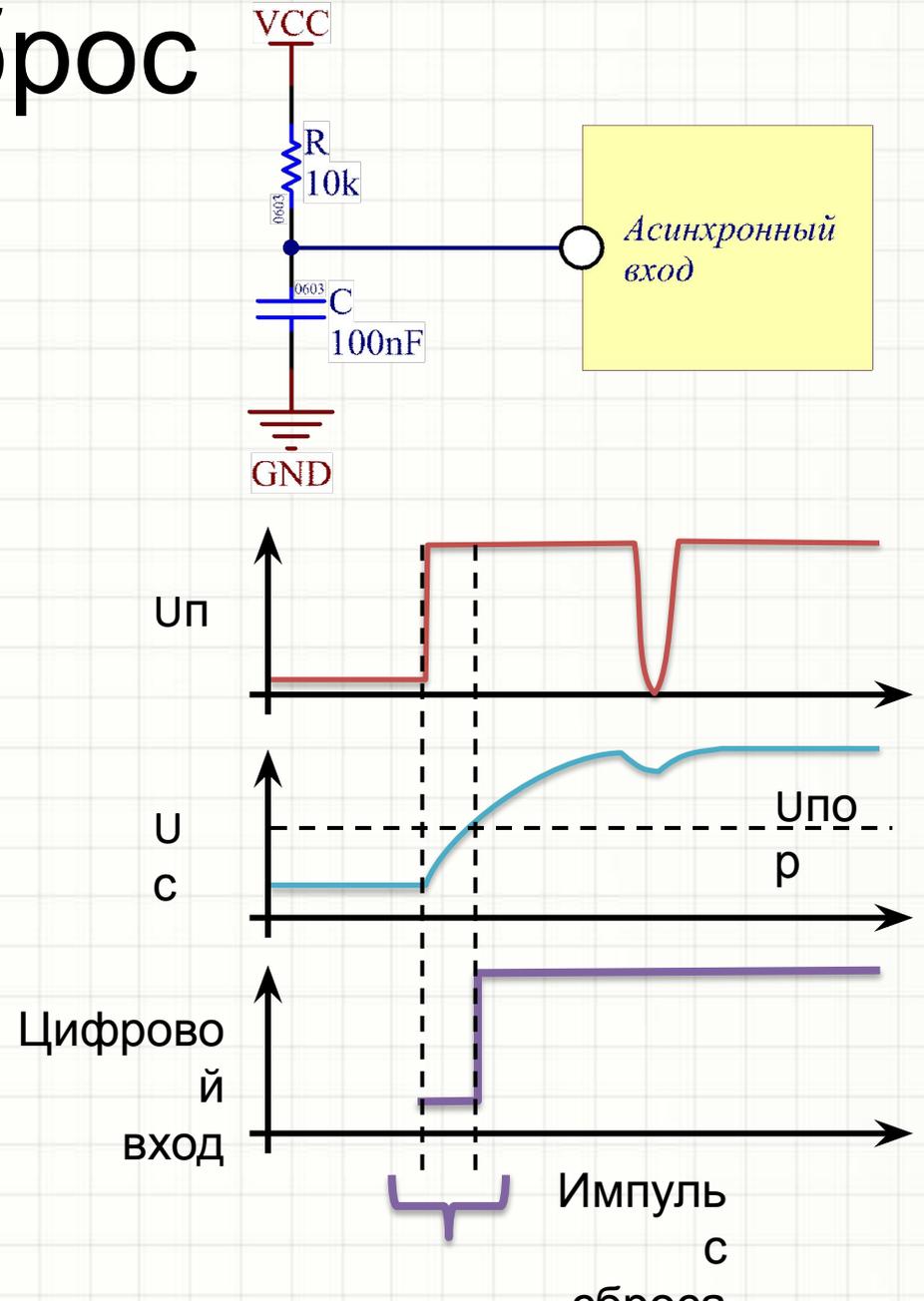
Начальный сброс

- После включения питания конденсатор заряжается с постоянной времени $\sim 0.7RC$
- В течение некоторого времени ИМС воспринимает U_c как уровень лог. «0» и инициализируется



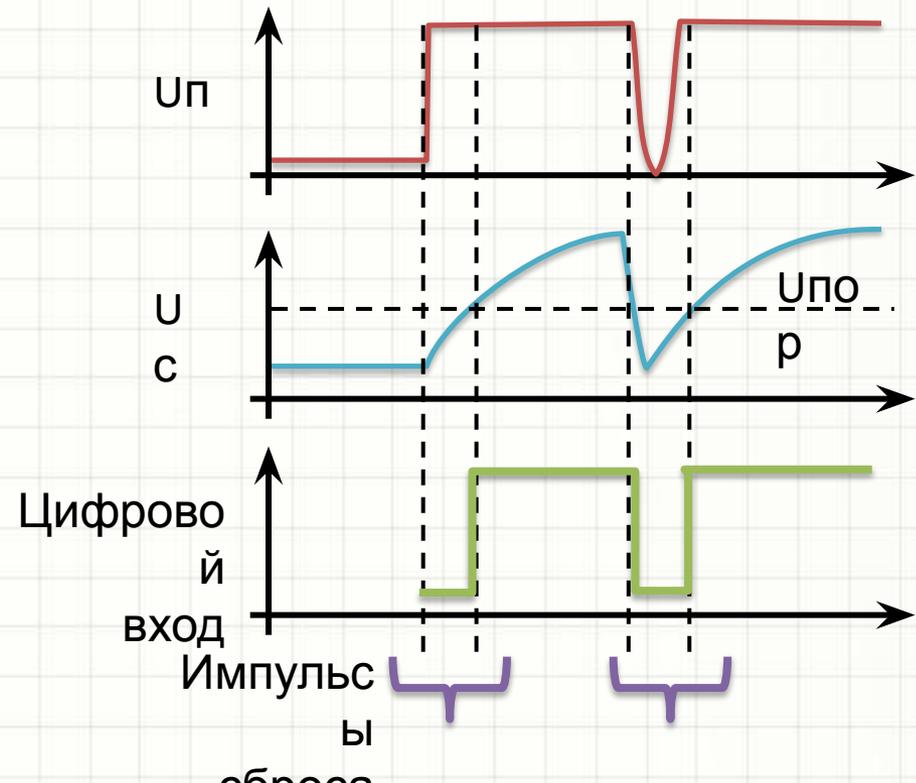
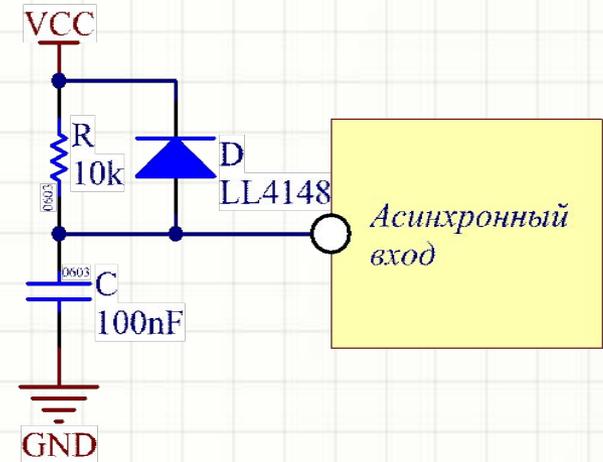
Начальный сброс

- Без диода кратковременное отключение питания не разрядит конденсатор ниже порога переключения
- Кратковременный сброс питания чреват неконтролируемым сбоем логики всей схемы!



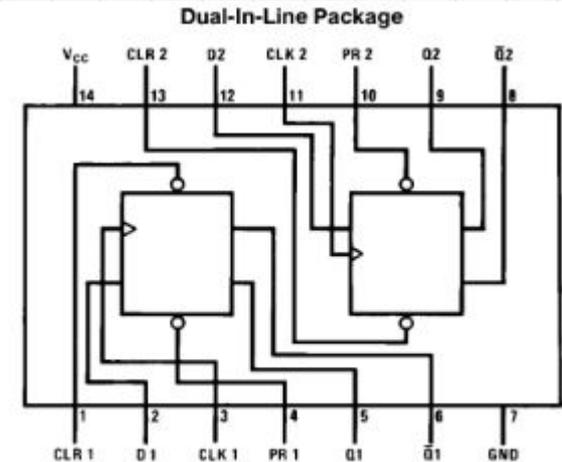
Начальный сброс

- С диодом кратковременное отключение питания конденсатор мгновенно разряжается до уровня 0.7 В
- Этот уровень воспринимается ИМС как лог. «0» и схема гарантированно инициализируется заново
- Такая схема сброса (инициализации) существенно надежнее

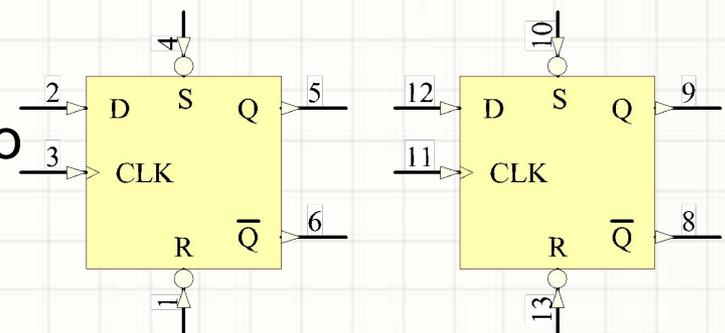


Триггеры серии 74

- Самый популярный комбинированный триггер – микросхема типа 7474 (74НС74): пара D-триггеров с асинхронным сбросом и установкой:
 - D – «информационный» синхронный вход
 - S – запись бита D в триггер по фронту
 - nR – подача лог «0» асинхронно записывает в триггер 0
 - nS - подача лог «0» асинхронно записывает в триггер 1
- Название на английском: «2x D LATCH, edge triggered with preset and clear»

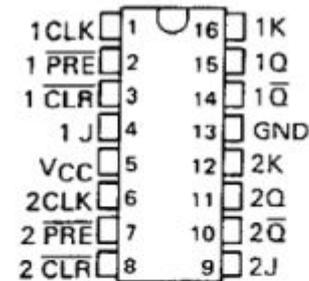


Inputs				Outputs	
PR	CLR	CLK	D	Q	\bar{Q}
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H*	H*
H	H	↑	H	H	L
H	H	↑	L	L	H
H	H	L	X	Q ₀	\bar{Q}_0



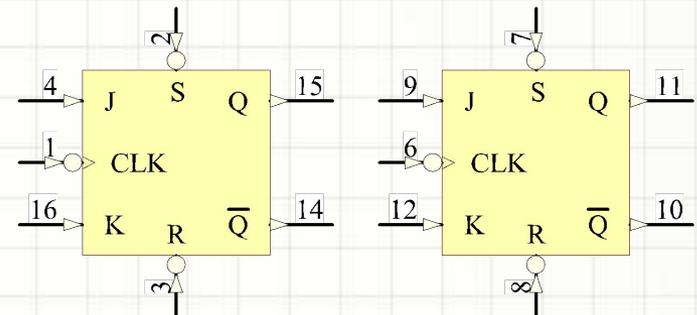
Триггеры серии 74

- 7476: синхронный JK-триггер с асинхронными сбросом и установкой:
 - J = 1 установка Q=1 по фронту C
 - K = 1 – сброс Q=0 по фронту C
 - J = K = 1 – инверсия Q по фронту C
 - nPRE – асинхронная установка
 - nCLR - асинхронный сброс
- Название на английском: «2x JK FLIPFLOP with preset and clear»



'76
FUNCTION TABLE

INPUTS					OUTPUTS	
PRE	CLR	CLK	J	K	Q	Q̄
L	H	X	X	X	H	L
H	L	X	X	X	L	H
L	L	X	X	X	H↑	H↑
H	H	⌈	L	L	Q ₀	Q̄ ₀
H	H	⌈	H	L	H	L
H	H	⌈	L	H	L	H
H	H	⌈	H	H	TOGGLE	



Счетчики

- Состоят из нескольких триггеров. Число триггеров = разрядность счетчика. Разновидности и функции счетчиков:
 - **Двоичные и двоично-десятичные**
 - **Суммирующие** – по фронту тактового сигнала число в счетчике увеличивается
 - **Вычитающие** – уменьшается
 - **Синхронные и асинхронные** – в зависимости от внутренней структуры (см. выше)
 - **Реверсивные:**
 - Синхронные - направления счета программируется специальным входом
 - Асинхронные – с двумя тактовыми входами «+1» и «-1»
 - С параллельной **загрузкой** – имеют несколько (соотв. разрядности) входов. Число с этих входов записывается в счетчик подачей активного уровня на вход параллельной загрузки:
 - В любой момент времени – асинхронная загрузка
 - По ближайшему фронту тактового импульсов – синхронная загрузка
 - Со **сбросом** (записью в триггеры числа 0000....) и **установкой** (записью в триггеры числа 1111....):
 - Асинхронно (подачей активного уровня на вход сброса/установки когда угодно)
 - Синхронно (сброс/установка происходит при активном уровне на входе сброса/установки по фронту тактового сигнала)
 - С **выходом переполнения** (используется, в т.ч., для *каскадирования*)
 - Со **входом, разрешающим счет** (используется, в т.ч., для *каскадирования*)

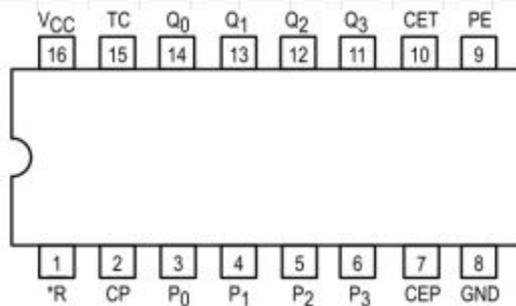
Счетчики

- Естественно, всегда указывается приоритет операций, например:
 1. Сброс
 2. Установка
 3. Параллельная загрузка
 4. Счет
- Т.е., например:
 - Одновременная подача всех сигналов разрешения (счета, сброса, установки, загрузки) приведет к сбросу
 - Одновременная подача сигналов разрешения счета и параллельной загрузки приведет к загрузке
 - Одновременная подача сигналов установки и загрузки приведет к установке

Счетчики серии 74

- 74160, 74161, 74162, 74163 – похожие микросхемы (синхронные счетчики) со следующим различиями:
 - 160, 162 – двоично-десятичные счетчики (BCD, *count modulo 10*)
 - 161, 163 – двоичные (binary)
 - 160, 161 – с асинхронным сбросом (*reset*)
 - 162, 163 – с синхронным сбросом (*reset*)

	BCD (Modulo 10)	Binary (Modulo 16)
Asynchronous Reset	LS160A	LS161A
Synchronous Reset	LS162A	LS163A



PE Parallel Enable (Active LOW) Input
 P₀–P₃ Parallel Inputs
 CEP Count Enable Parallel Input
 CET Count Enable Trickle Input
 CP Clock (Active HIGH Going Edge) Input
 MR Master Reset (Active LOW) Input
 SR Synchronous Reset (Active LOW) Input
 Q₀–Q₃ Parallel Outputs (Note b)
 TC Terminal Count Output (Note b)

Счетчики серии 74

- Таблица функционирования счетчиков 7416х:

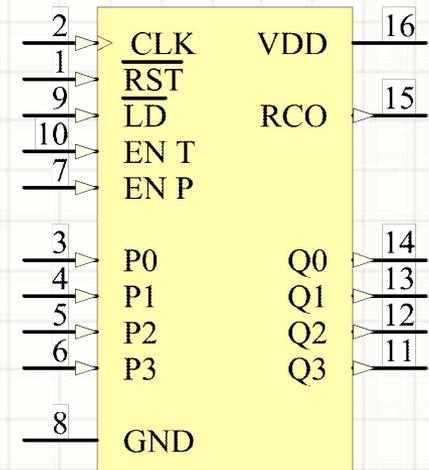
MODE SELECT TABLE

*SR	PE	CET	CEP	Action on the Rising Clock Edge (\uparrow)
L	X	X	X	RESET (Clear)
H	L	X	X	LOAD ($P_n \rightarrow Q_n$)
H	H	H	H	COUNT (Increment)
H	H	L	X	NO CHANGE (Hold)
H	H	X	L	NO CHANGE (Hold)

*For the LS162A and LS163A only.

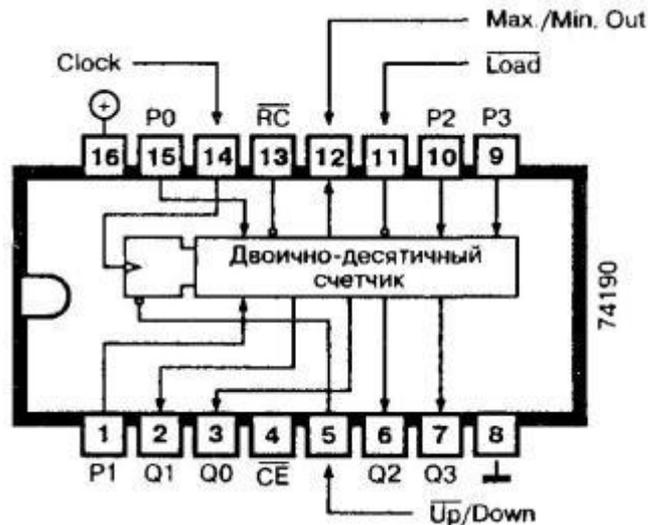
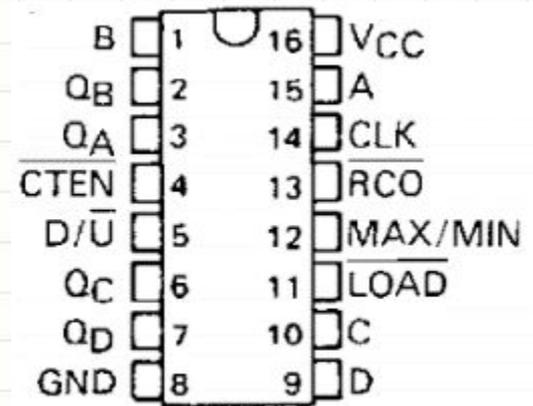
H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level
X = Don't Care

- Приоритеты для синхронных счетчиков:
 - Сброс (SR)
 - Параллельная загрузка (PE)
 - Счет по (CEP · CET)



Счетчики серии 74

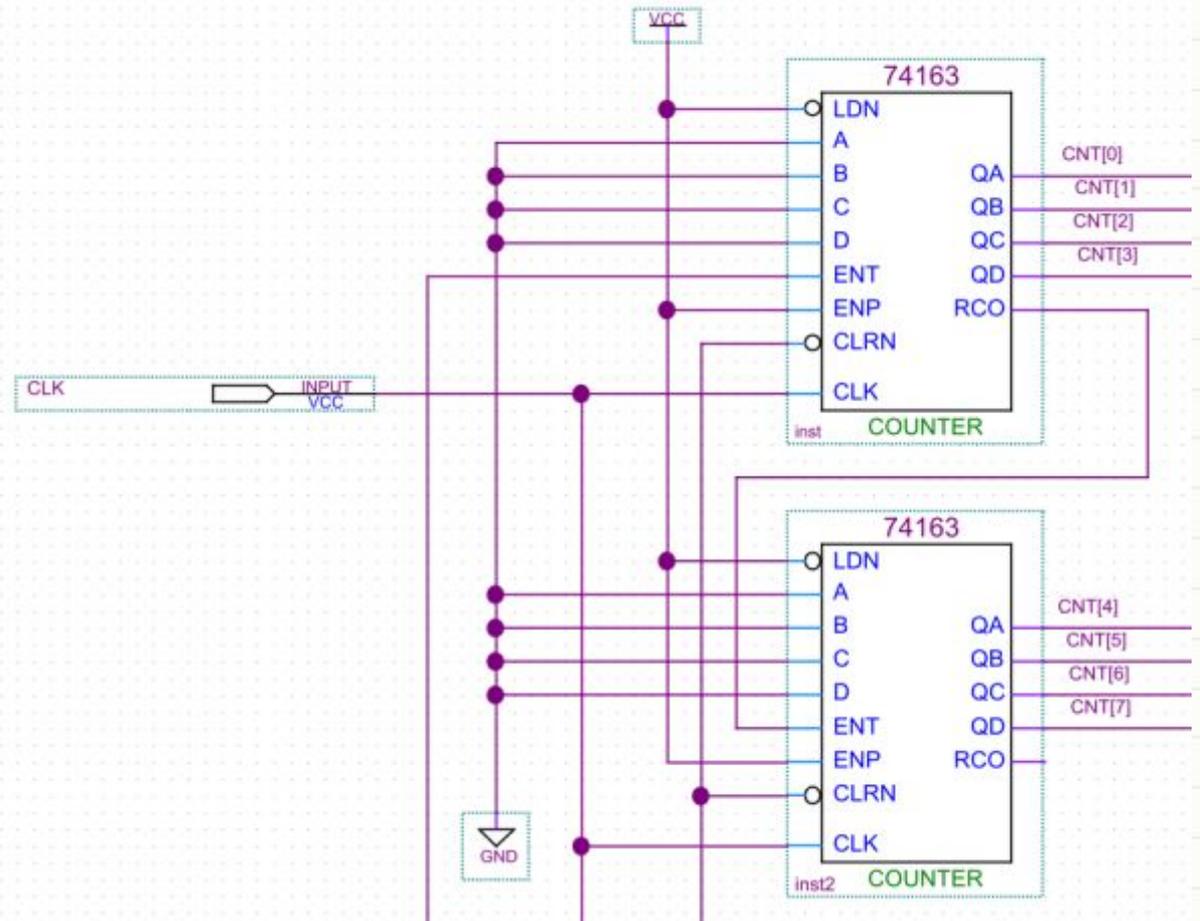
- 74190, 74191 – синхронные реверсивные счетчики с параллельной загрузкой:
 - 190 - двоично-десятичный
 - 191 - двоичный



- CLK – тактовый вход (*clock*)
- QA...QD – выходы
- A...D – информационные входы для параллельной загрузки
- nLOAD – вход **асинхронной** загрузки
- CTEN – разрешение счета (Count Enable)
- D/nU – направление счета (Down/nUp)
- MAX/MIN – выход переполнения (выдается лог. 1 длительностью в 1 период CLK)
- nRCO – ripple carry output – выход переполнения (выдается лог. 0, совпадающий с паузой CLK)

Каскадирование счетчиков

- 4-разрядный двоичный счетчик считает до 15-ти, двоично-десятичный – до 9-ти
- Если нужно считать большее число импульсов, требуется каскадировать счетчики



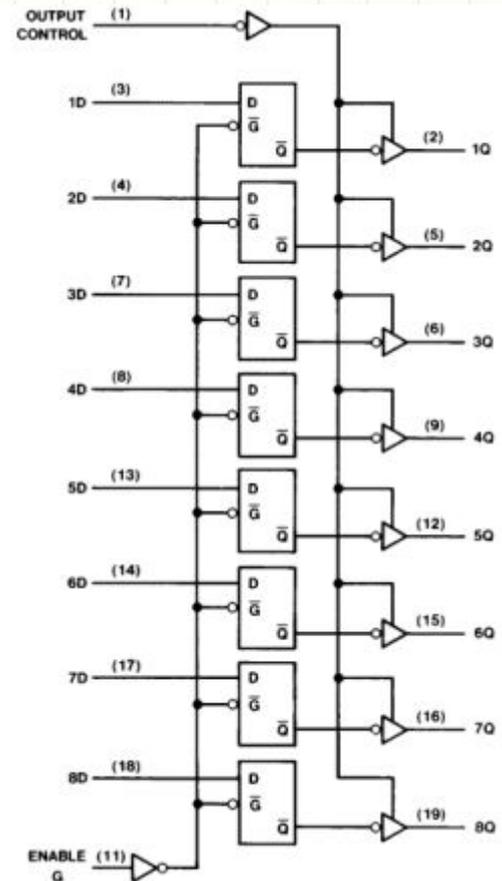
- Каскадирование в синхронной схеме делается путем соединения выхода переполнения младшего счетчика со входом разрешения счета старшего счетчика

Регистры

- Простейший регистр – группа D-триггеров с общими входами управления и индивидуальными входами D и выходами Q
- 8 триггеров формируют регистр, который может хранить байт информации
- Классические устройства памяти состоят из множества регистров
- Виды регистров:
 - Параллельные: запись и чтение данных производится с многоуровневых шин D[] и Q[]
 - Сдвиговые: есть возможность загружать и выгружать данные бит за битом при помощи отдельных одноразрядных входов и выходов (= кольцевые счетчики!)

Регистры

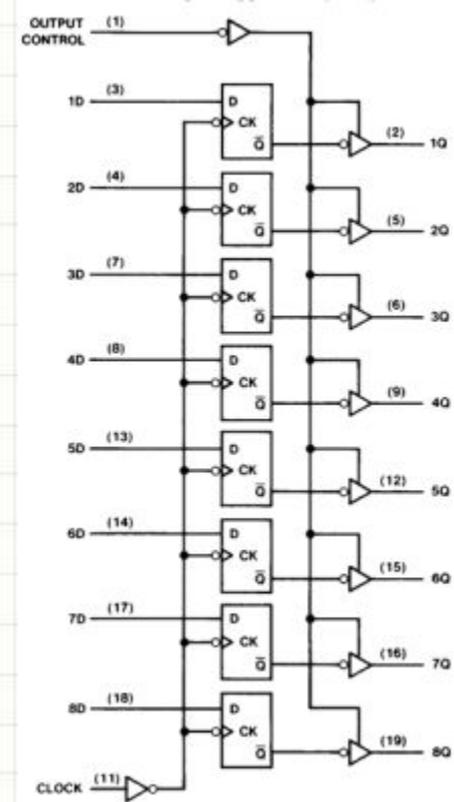
- Простейшая пара похожих 8-разрядных регистров – 74373 и 74374
- 74373 – «transparent latch»:
 - Если вход G (*Gate*) = 0, то $Q[] = D[]$, $D[]$ может меняться в любое время, триггер в режиме «прозрачности»
 - Если вход $G = 1$, $Q[]$ хранит последнее значение $D[]$, которое было при $G=0$, триггер – в режиме хранения
 - Output Control = 1 отключает выходы триггеров, они переходят в Z – состояние
- Можно включать в параллель несколько выходных шин таких регистров при условии, что Output Control = 0 лишь у одного из них одновременно!



Output Control	Enable G	D	Output
L	H	H	H
L	H	L	L
L	L	X	Q_0
H	X	X	Z

Регистры

- 74374 – «positive edge-triggered flip-flop»:
 - По фронту тактовых импульсов Clock триггер запоминает число на шине D и подает его на Q
 - D может меняться при неизменном уровне Clock, и это не повлияет на Q
 - Output Control = 1 отключает выходы триггеров, они переходят в Z – состояние
- Такой триггер весьма полезен для запоминания байта на каждом тактовом импульсе с генератора в схеме

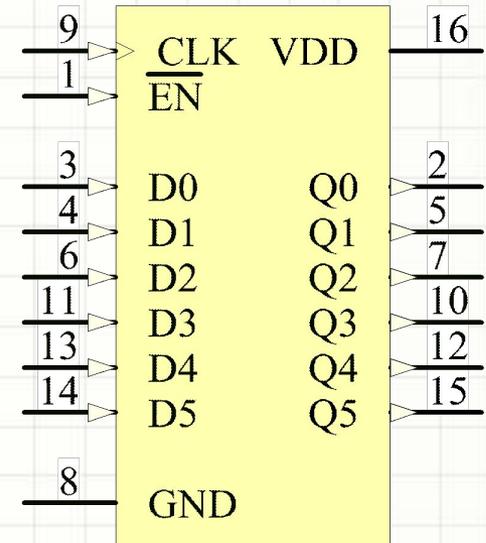
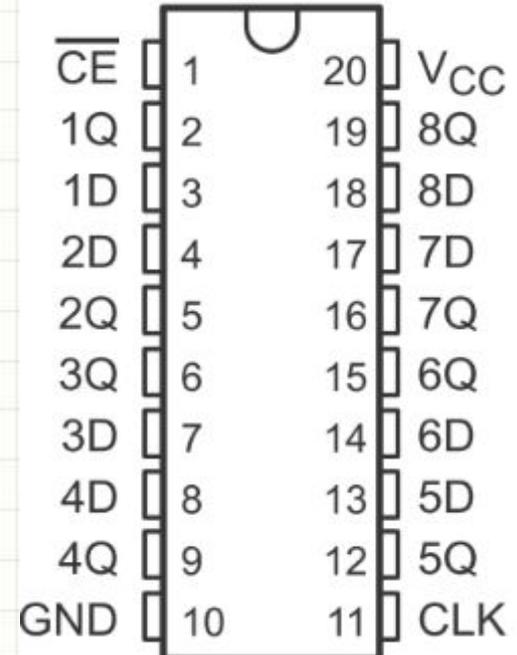


Output Control	Clock	D	Output
L	↑	H	H
L	↑	L	L
L	L	X	Q ₀
H	X	X	Z

Регистры

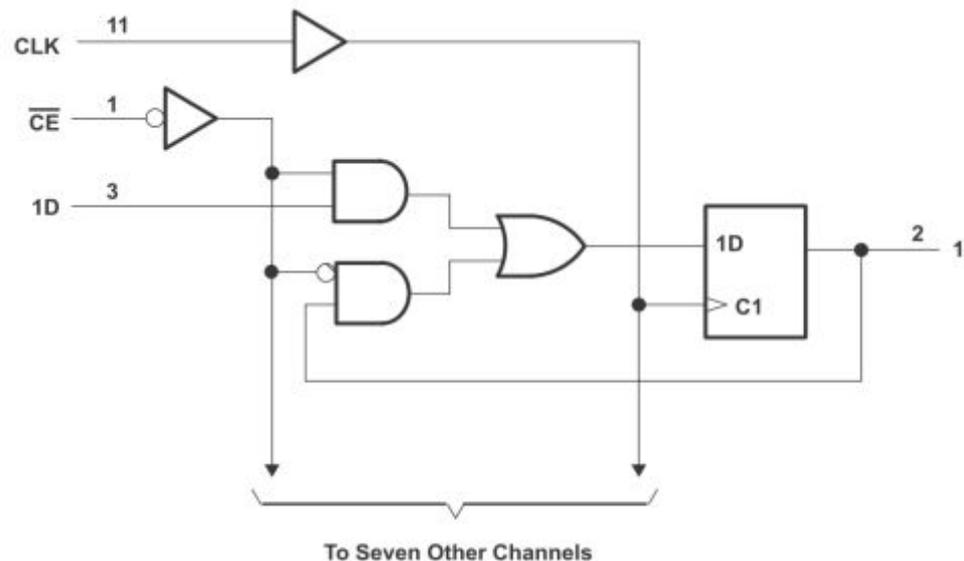
- **Еще более полезен на практике регистр 74377 – «octal D-type flip-flop with clock enable»:**
 - Хранит до 8 бит данных
 - Запоминает биты D[] по фронту тактового сигнала CLK
 - $\overline{nCE} = 1$ отключает функцию запоминания битов
- Используется в схемах, когда следует фиксировать значение какого-то числа не по каждому фронту тактового сигнала, а по команде какой-то схемы!

INPUTS			OUTPUT
\overline{CE}	CLK	D	Q
H	X	X	Q ₀
L	↑	H	H
L	↑	L	L
X	L	X	Q ₀



Регистры

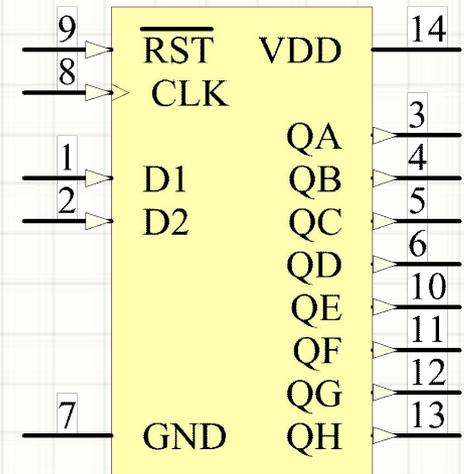
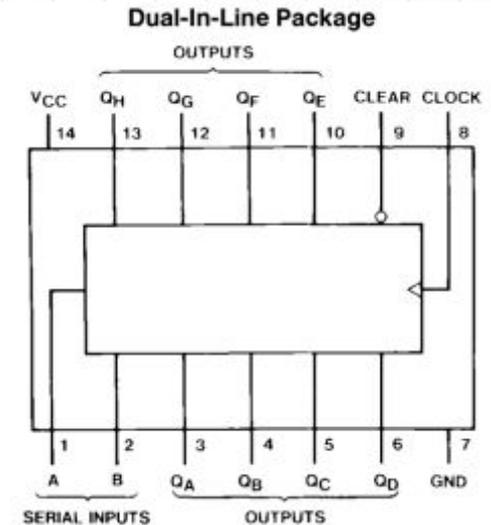
- Внутренняя структура 74377 для каждого бита, фактически, содержит мульт



- Если $nCE = 1$, то у каждого D-триггера $D = Q$ и фронт CLK ничего не изменит
- Если $nCE = 0$, то у каждого D-триггера уровень на D задается входом микросхемы, и фронт CLK вызовет запоминание поданного уровня в регистре
- **Запомним эту схему, она нам пригодится в будущем!**

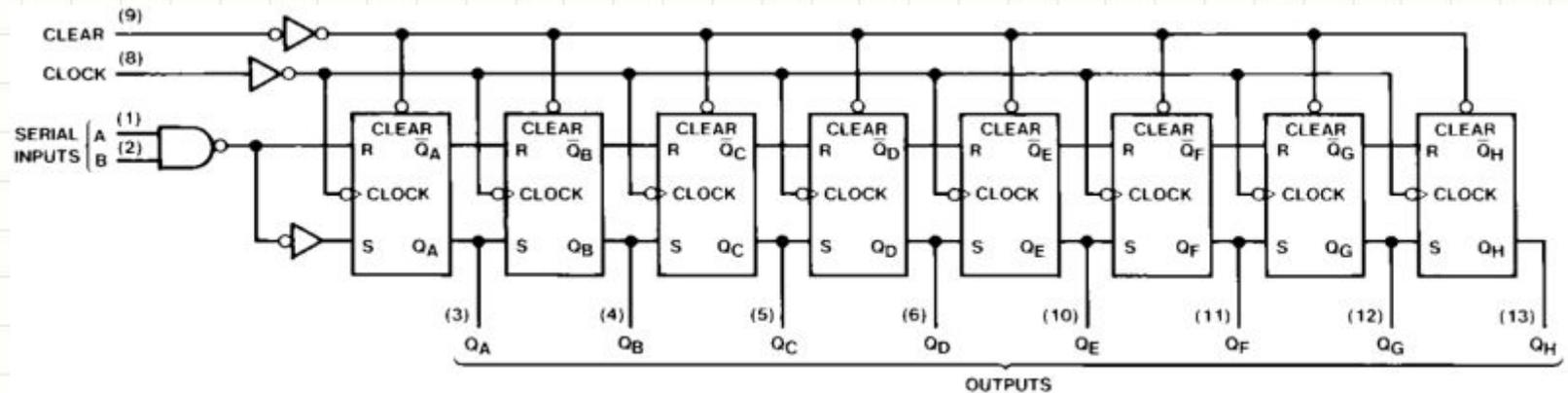
Сдвиговые регистры

- Рассмотрим несколько примеров таких микросхем
- 74164 – «8-bit Serial In/Parallel Out Shift Register»
 - Позволяет загрузить данные со входа А · В (D1 · D2 на УГО->). Для загрузки байта требуется 8 тактовых импульсов
 - CLK – тактовый вход
 - Q[] – шина, на которой доступны биты, хранящиеся в регистре
- Полезен в схемах, которые **принимают** данные по последовательному интерфейсу (запоминают бит за битом по фронту тактового сигнала)



Сдвиговые регистры

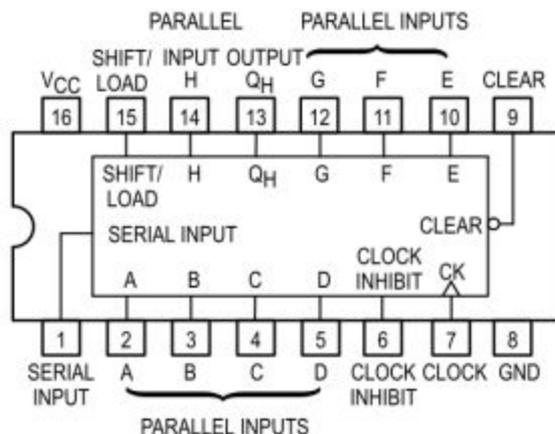
- Внутренняя структура 74164:



- Как видно, для использования регистра в качестве устройства памяти с последовательной загрузкой входы А и В следует объединить и подключить к источнику данных

Сдвиговые регистры

- 74166 – регистр с:
 - Параллельной (A...G) или последовательной (SERIAL INPUT) загрузкой (выбор – SHIFT/LOAD)
 - Асинхронным сбросом триггеров (CLEAR)
 - Последовательным выходом (QH)
 - Отключением тактовых импульсов (CLOCK INHIBIT)
- Полезен для передачи данных по последовательному интерфейсу (например, схемы клавиатур с последовательной передачей номера нажатой кнопки)



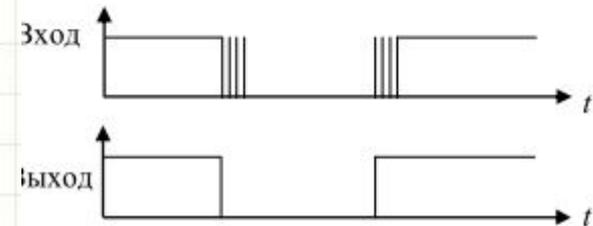
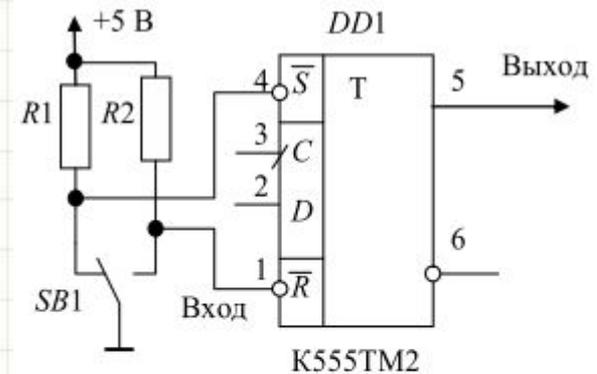
INPUTS						INTERNAL OUTPUTS		OUTPUT Q _H
CLEAR	SHIFT/LOAD	CLOCK INHIBIT	CLOCK	SERIAL	PARALLEL	Q _A	Q _B	
					A...H			
L	X	X	X	X	X	L	L	L
H	X	L	L	X	X	Q _{A0}	Q _{B0}	Q _{H0}
H	L	L	↑	X	a...h	a	b	h
H	H	L	↑	H	X	H	Q _{An}	Q _{Gn}
H	H	L	↑	L	X	L	Q _{An}	Q _{Gn}
H	X	H	↑	X	X	Q _{A0}	Q _{B0}	Q _{H0}

Устройства ввода (кнопки и клавиатуры)

- Кнопки – механические ключи:
 - Замыкающие
 - Переключающие
 - С фиксацией и без
 - Одно- и двухполюсные
- Все кнопки подвержены дребезгу: после нажатия и отжатия кнопки контакт замыкается и размыкается не 1, а несколько раз из-за неидеальности контактов
- Требуется схема защиты от дребезга

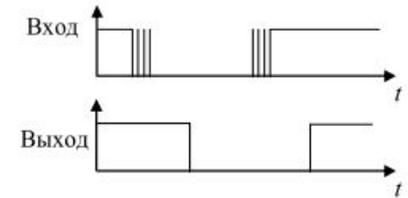
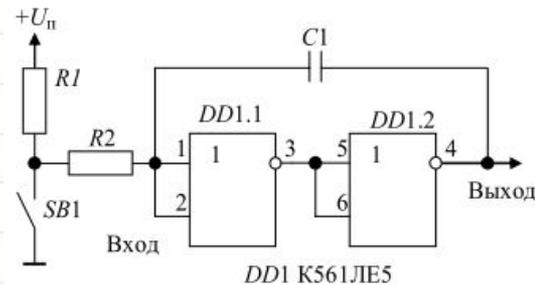
Асинхронная защита от дребезга

- Используется микросхема К555ТМ2 (советский аналог 7474) и переключающая кнопка
- Входы D и C не задействованы (в микросхемах серий НС – заземлить)
- После нажатия на кнопку $\bar{S} = 1$, в процессе дребезга \bar{R} меняет состояние неоднократно, но первый же момент времени $\bar{R} = 0$ изменяет состояние триггера
- Одновременное значение $\bar{S} = \bar{R} = 0$ исключено конструктивно (переключающей кнопкой)

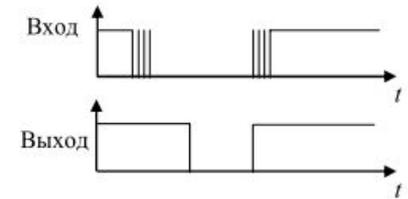
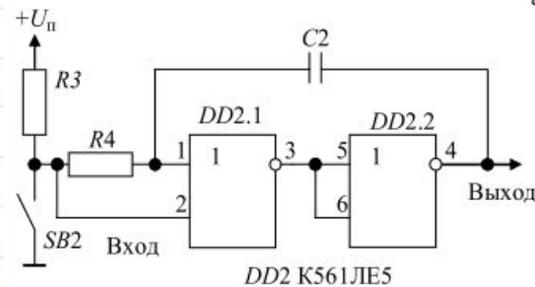


Асинхронная защита от дребезга

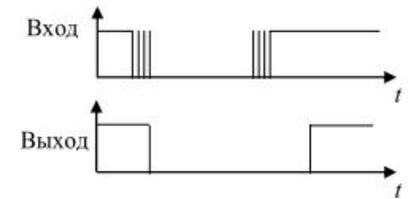
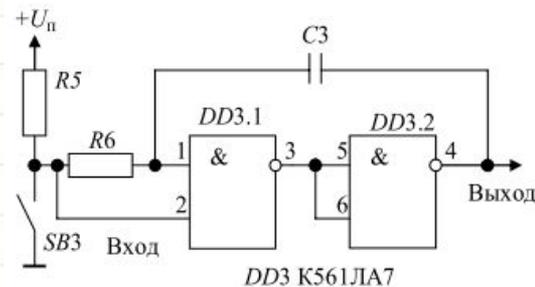
- Используется замыкающая кнопка и ЛЭ
- Фактически, приведены схемы одновибраторов
- Для первой схемы: импульс на выходе «откладывается» до зарядки конденсатора
- Обратный переход возможен после его разрядки



a



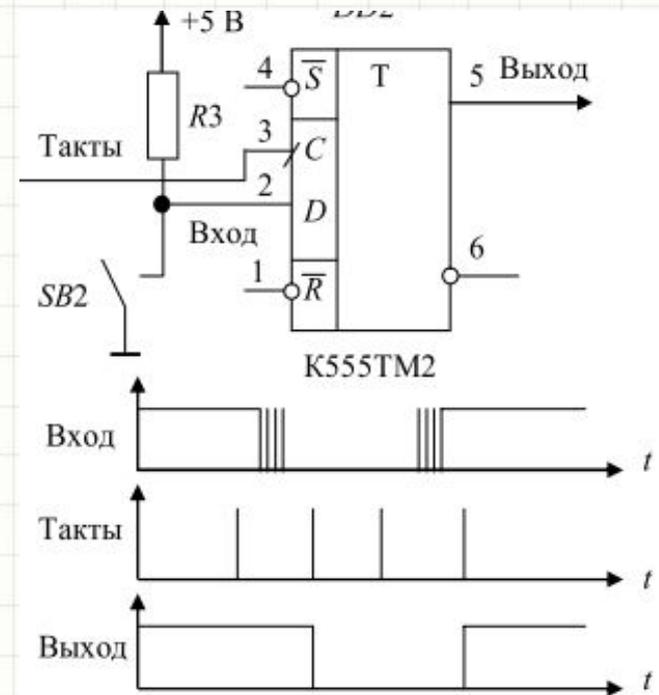
б



в

Синхронная защита от дребезга

- Рекомендуется к применению в 100% синхронных («хороших») цифровых схем
- Подход используется в микропроцессорной и вычислительной технике
- Частота тактов – от нескольких мс до нескольких десятков мс (>> длительности дребезга)
- Логика работы проста. Если фронт тактовых импульсов не совпал с дребезгом, проблемы
- Если фронт тактовых импульсов совпал с дребезгом:
 - ... и сразу прочитался уровень лог. «0», на выходе сразу возникнет лог. «0»
 - ... и сразу прочитался уровень лог. «1», нажатие на кнопку будет воспринято схемой на следующем такте
 - На следующем такте дребезга уже нет

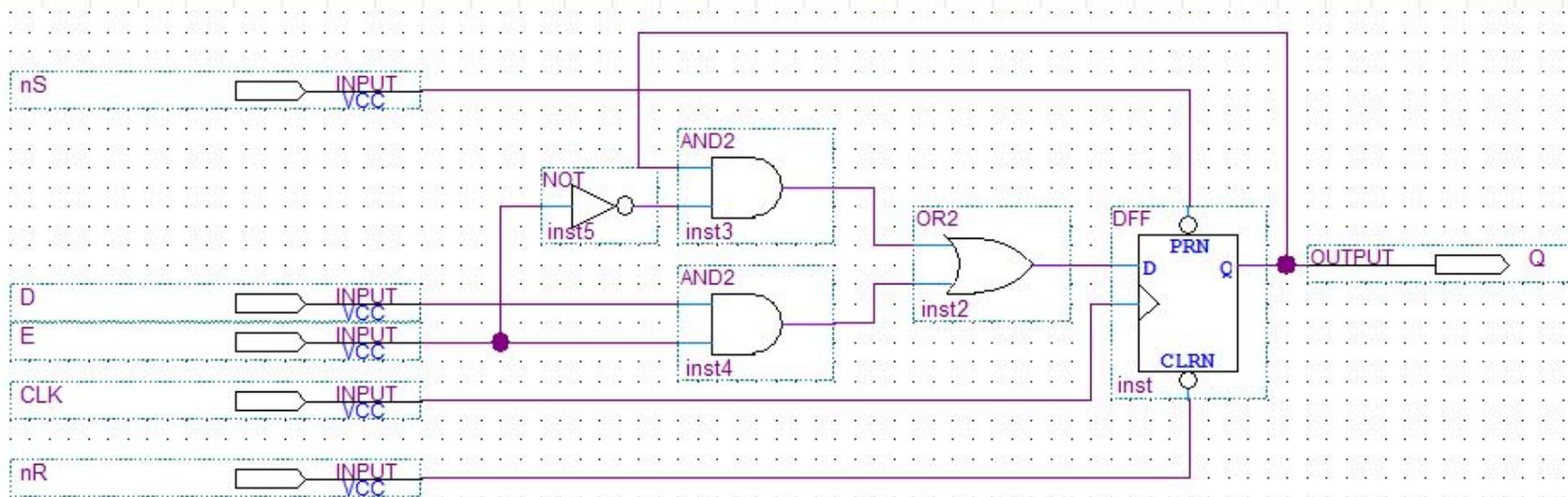


D-триггер с разрешением работы

- В различных приложениях, в т.ч., для опроса клавиатуры, D-триггеры захватывают входной бит 1 раз в 10...100 мс
- Тактовая частота генератора тактовых импульсов (ГТИ) для всей схемы обычно выше – в диапазоне кГц, мГц.
- Часто требуется иметь D-триггер с разрешением работы и разрешать работу 1 раз в несколько (много) тактов основного генератора тактовых импульсов

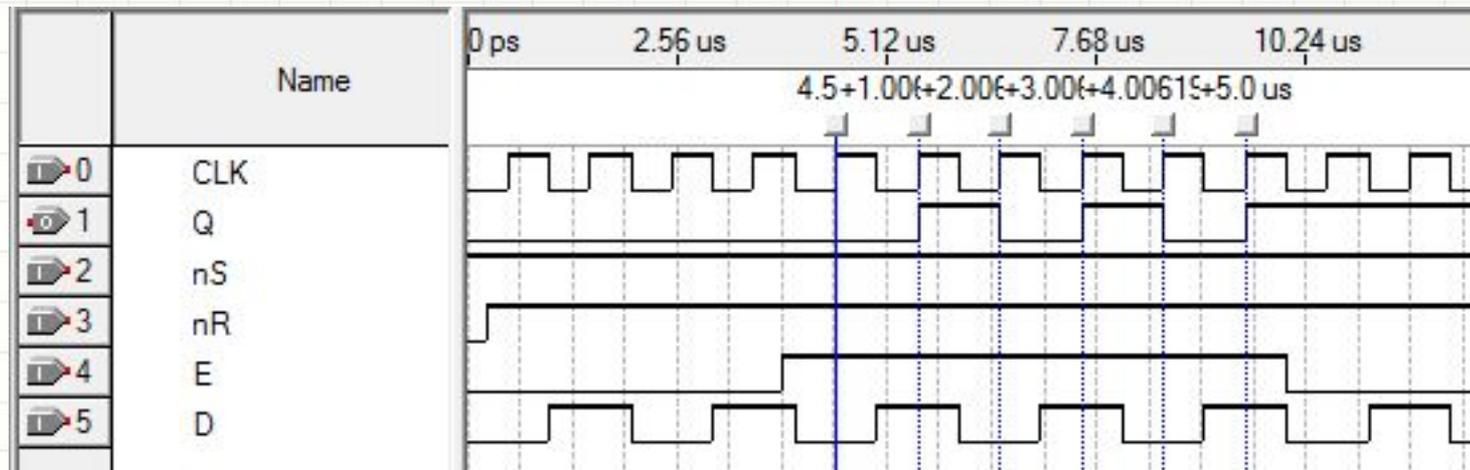
D-триггер с разрешением работы

- Такой D-триггер можно сконструировать при помощи обычного D-триггера (например, типа 7474) и мультиплексора:



- Благодаря элементам 2И, ИЛИ, НЕ:
 - $Q_{n+1} = Q_n$ если $E = 0$
 - $Q_{n+1} = D$ если $E = 1$
- E – от слова **EN**able («разрешение»)

D-триггер с разрешением работы

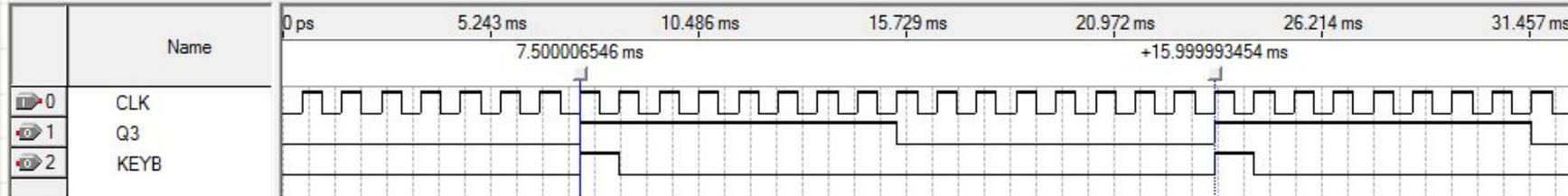


- Как видно, полученная схема записывает данные в триггер по фронту С при $E = 1$ и игнорирует фронты С если $E = 0$
- В некоторых случаях D-триггер с разрешением доступен в среде разработки цифровых логических устройств сразу (например, DFFE для ПЛИС Altera)

Опрос клавиатуры с пониженной частотой

- Если тактовая частота схемы, к примеру, 1 кГц (1 мс), и требуется опрашивать клавиши, удобно:
 - выделить для этих целей цепь KEYS, в которой присутствуют короткие импульсы длительностью в 1 мс
 - импульсы повторяются каждый 16й или каждый 32й такт (период опроса 16 или 32 мс соответственно)
 - Цепь KEYS управляет входом E схемы D-триггера с разрешением (см. выше)
- Для создания цепи KEYS удобно воспользоваться выходом какого-либо счетчика, тактируемого от ГТИ на 1 кГц, например, блок №2 (16 мс)

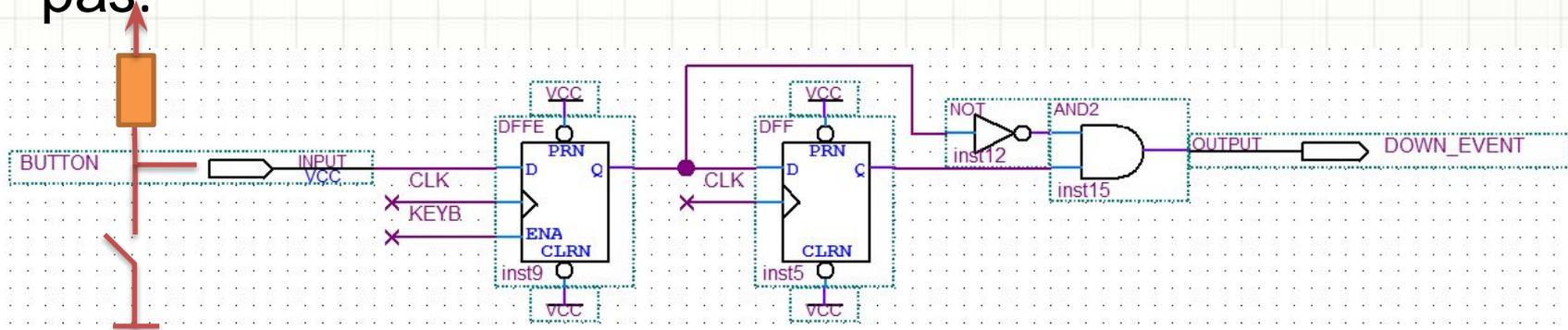
Опрос клавиатуры с пониженной частотой



- Вместо D-триггера в примере для формирования сигнала KEYB можно:
 - использовать компаратор и сравнить все биты счетчика Q[3..0] с числом 15
 - использовать выход переполнения счетчика RCO
 - использовать элемент 4И для всех выходов Q[3..0]
- Показан лишь один из вариантов!

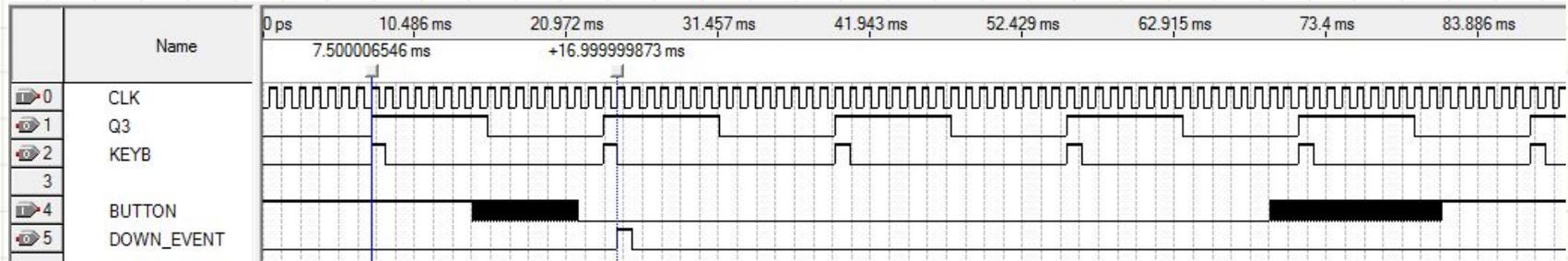
Опрос клавиатуры с пониженной частотой

- Для выделения события нажатия кнопки нужно применить подход «был лог. 1, а стал лог. 0» еще раз:



- Схема D-триггера с разрешением (DFFE) рассмотрена выше
- Первый триггер служит для защиты от дребезга
- Второй, вместе с ЛЭ И, НЕ - для детектирования события «нажата клавиша» (детектирование среза в цепи BUTTON)

Опрос клавиатуры с пониженной частотой

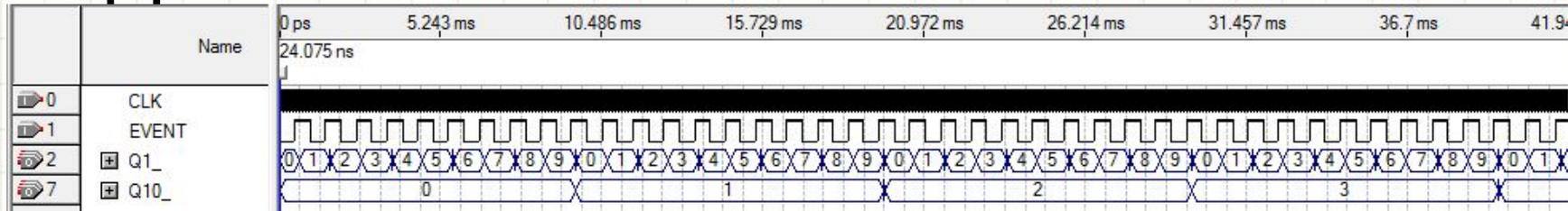


- Как видно, схема генерирует короткий ($1\text{ms} = 1 / F_{\text{clk}}$) импульс по нажатию на кнопку, игнорируя дребезг
- Если нужно детектировать как нажатие, так и отпускание, вместо схемы И + НЕ используем исключающее ИЛИ (подход «то, что было, отличается от того, что стало»)

Опрос клавиатуры с пониженной частотой

- Описанным методом полезно выделять короткие импульсы по следующим событиям:
 - Нажатие кнопки
 - Срабатывание концевого выключателя механического привода
 - Переход напряжением питающей сети нулевого значения
 - Срабатывание оптического датчика перемещения (щелевого, рефлексивного)
 - ... и т.д.
- Эти короткие импульсы могут разрешать работу счетчиков (подсчет объектов, программирование числа кнопками больше-меньше), сбрасывать счетчики объектов, сбрасывать счетчики импульсов (частотомеры, тахометры)

Устройства вывода (индикация), подсчет числа событий



- Как видно, осуществлен подсчет событий EVENT в 2/10 системе исчисления (отдельно единицы числа, отдельно – десятки)
- Двоичные счетчики в аналогичном каскаде подсчитывали бы импульсы в полной двоичной системе исчисления (младший счетчик 0-F, старший 0-F, все число 0-FF)
- Осталось преобразовать 2/10 код в код управления 7-сегментными индикаторами

Подсчет числа событий

- Если бы мы проектировали частотомер, тахометр, расходомер, то:
 - подсчитывали бы число импульсов за 1 секунду (Герцы)
 - В конце каждой секунды переносили бы число из счетчика в регистр и далее – на индикаторы
 - В конце каждой секунды сбрасывали бы счетчик
- Если бы мы проектировали счетчик числа витков катушки, длины провода, объема прошедшей через крыльчатку жидкости, сброс производился бы кнопкой. Индицировалось бы текущее значение



**ПОСТРОЕНИЕ
ЦИФРОВЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ
ПО ЗАДАНИЮ:
ТИПИЧНЫЕ СЛУЧАИ**

Содержание

- Условная классификация типов заданий на курсовое проектирование
 - Приборы – счетчики событий
 - Таймеры и часы
 - Подсчет числа объектов
 - Расходомеры
 - Тахометры, спидометры
 - Регуляторы мощности
 - При помощи фазового управления симистором
 - При помощи включения и выключения нагрузки по полупериодам питающей сети
 - При помощи ШИМ
 - Приборы – цифровые автоматы
 - Тактирование ПЗС-приборов
 - Светофоры, мигалки, гирлянды
 - Функциональные генераторы
 - Последовательный способ передачи информации

Приборы-счетчики

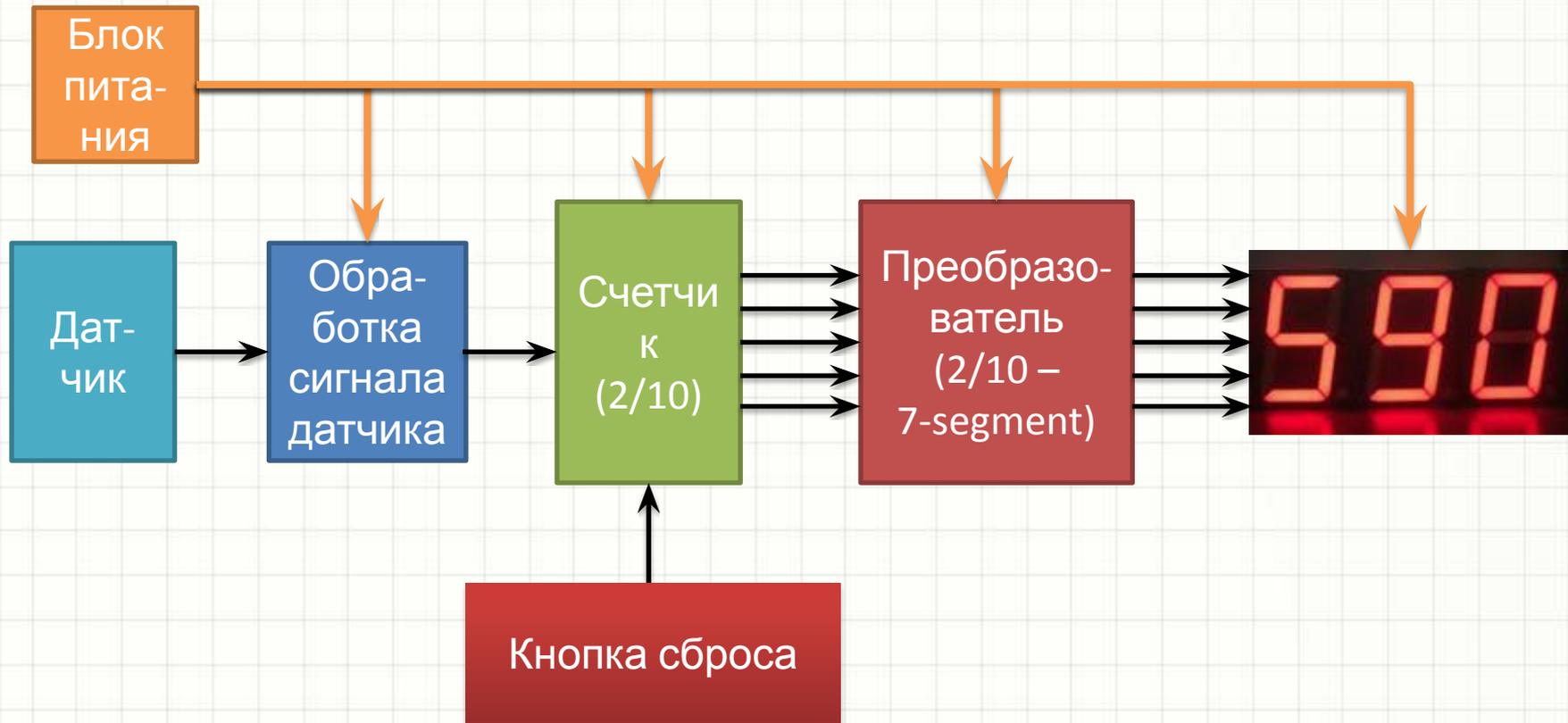
- К этому классу заданий на курсовое проектирование относятся:
 - Таймеры и часы (**считают секунды**)
 - Автоматы времени (**считают секунды, чем-то управляют по меткам времени**)
 - Подсчет числа объектов: машин на парковке, людей, прошедших через турникет, витков провода на катушке, количества монет в торговом автомате и т.п. (**считают импульсы с датчиков объектов**)
 - Расходомеры: измерители количества прошедшей жидкости, длины провода и т.п. (**считают импульсы с датчиков удельных величин**)
 - Тахометры, спидометры, датчики потока жидкости (литров в мин.) и т.п. (**считают импульсы с датчиков в единицу времени**)

Приборы-счетчики

- Все подобные схемы считают импульсы:
 - Следующие от генератора один раз в секунду: имеем часы и секундомеры, таймеры
 - Следующие от оптических и механических датчиков: имеем счетчики количества или объема
 - Если импульсы считаются в пределах одной секунды (минуты) – имеем частотомеры, расходомеры жидкости, показывающие результат в виде литров/сек., тахометры

Приборы-счетчики

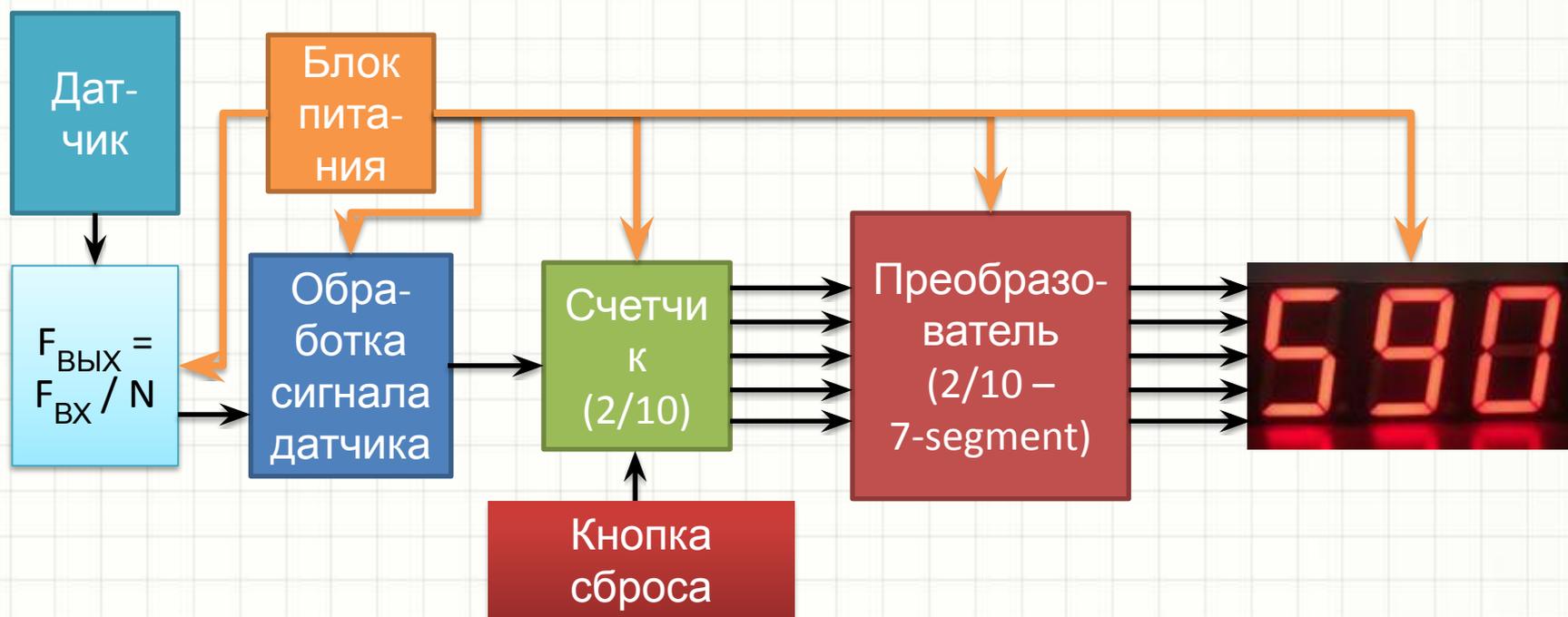
- Простой подсчет числа импульсов:



- Если это – секундомер, то датчик – это генератор на 1 Гц!

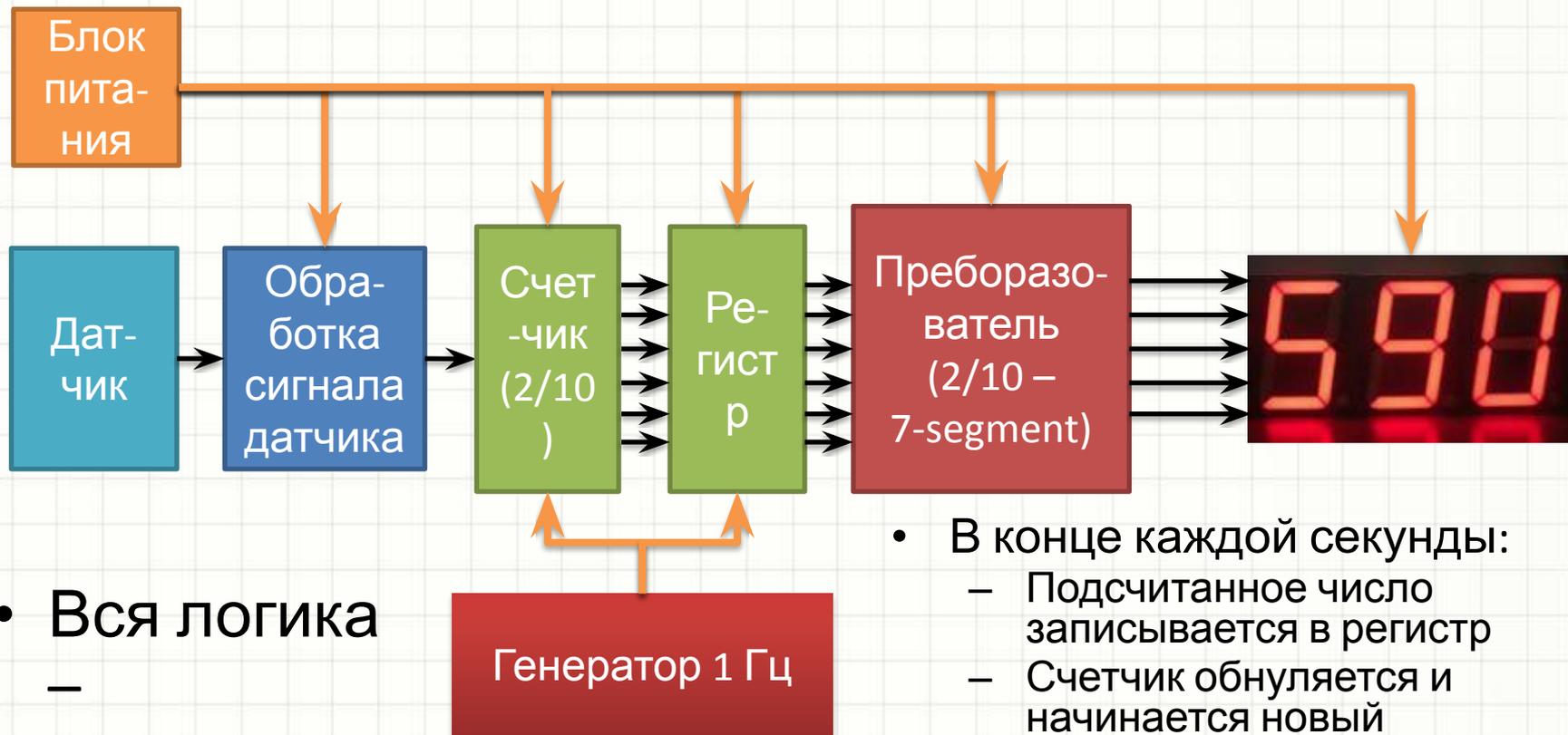
Приборы-счетчики

- Если одному объекту / метру провода / литру жидкости соответствует несколько (N) импульсов датчика:



Приборы-счетчики

- Подсчет частоты в Гц, литров в секунду, метров в секунду



- Вся логика
– синхронная
!

- В конце каждой секунды:
 - Подсчитанное число записывается в регистр
 - Счетчик обнуляется и начинается новый подсчет

Приборы-счетчики

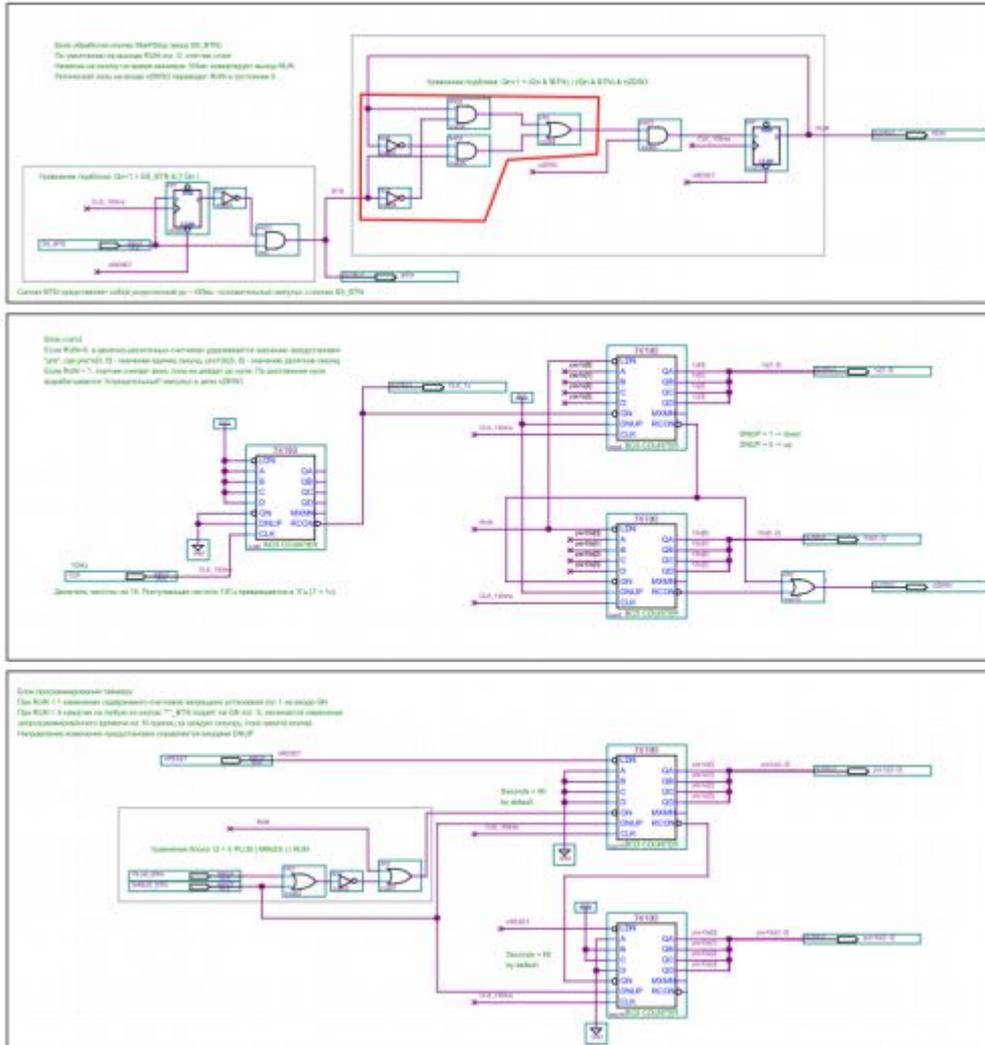
- Таймеры обратного отсчета требуют применения реверсивных счетчиков
- Схема обработки сигнала с датчика:
 - Для кнопки, концевого выключателя, геркона – система защиты отдребезга
 - Для оптического датчика (ИК) – высокоомный резистор аналоговый компаратор
 - Для ИК-датчика в импульсном режиме – разделительный конденсатор и детектор на диоде или диоде и ОУ

Таймер

- **Пример полной реализации цифровой части схемы!**
- Представляет собой частный случай устройства подсчета событий. События – это секунды
- Рассмотрим пример программируемого таймера:
 - Нажатие кнопки «старт-стоп» запускает и останавливает обратный отсчет (0...99с)
 - Нажатие кнопок «плюс» и «минус» изменяет предустановку, но только при остановленном обратном отсчете. Во время отсчета кнопки не работают

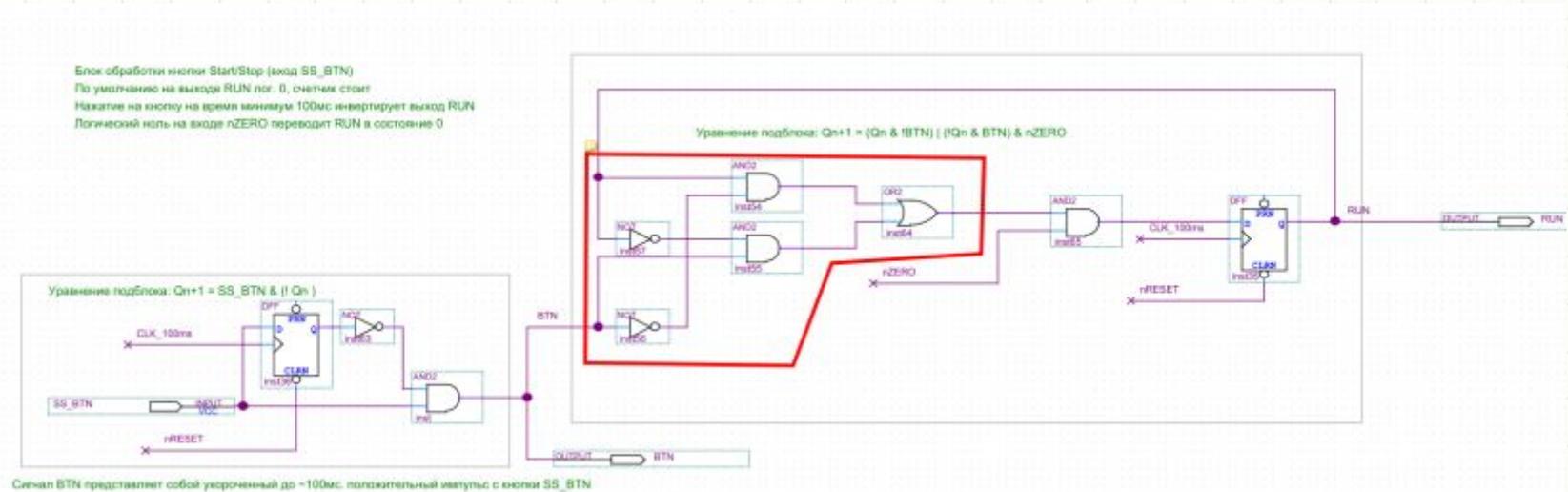
Таймер

см. [Timer.pdf](#), [TimerSim.pdf](#)



- Схема включает в себя 3 блока:
 - Блок обработки кнопки «старт-стоп»
 - Блок обратного отсчета
 - Блок программирования таймера
- Все кнопки генерируют лог. «1» при нажатии
- Драйверы индикаторов (7447) **не показаны**

Таймер: обработка кнопки «старт-стоп»

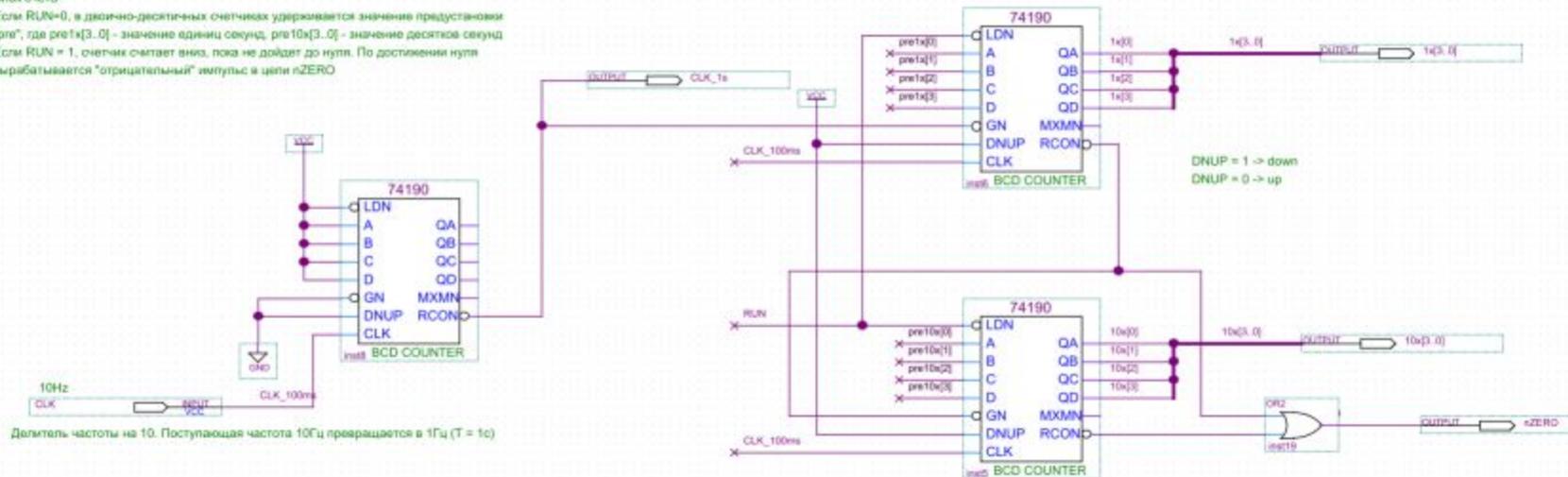


- Глобальные тактовые импульсы – 10 Гц (CLK_100ms)
- D-триггер №1 выделяет фронт сигнала с кнопки в виде импульса BTN (длительность импульса – 100 мс)
- Это импульс инвертирует выход триггера (сигнал RUN), разрешающий отсчет
- RUN сбрасывается окончанием отсчета (nZERO)
- В рамке – схема ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ, импульсы с кнопки инвертируют сигнал на входе D-триггера
- Его может принудительно занулить сигнал nZERO

Таймер: блок обратного отсчета

Блок счета

Если RUN=0, в двоично-десятичных счетчиках удерживается значение предустановки "pre", где pre[3..0] - значение единиц секунд, pre[10..3] - значение десятков секунд.
Если RUN = 1, счетчик считает вниз, пока не дойдет до нуля. По достижении нуля вырабатывается "отрицательный" импульс в цепи nZERO



- 2/10 счетчик 74190 №1 генерирует короткие «отрицательные» импульсы частоты 1 Гц для разрешения работы основного каскадного счетчика.
 - Т.к. Это BCD-счетчик, к-то пересчета составляет 10, частота на выходе = частота на входе / 10!
- 2/10 счетчики №№2 и 3 в каскаде находятся в состояниях:
 - Постоянной загрузки предустановки числа pre[xx], если таймер стоит (RUN = LDN счетчиков = 0)
 - Счета на уменьшение, если RUN = 1 и LDN счетчиков неактивен; разрешение счета GN имеет активный уровень раз в секунду в течение 1 такта CLK
- Когда оба счетчика в каскаде испытывают отрицательное переполнение (доходят до 00 секунд), генерируется импульс nZERO, который отключает сигнал RUN

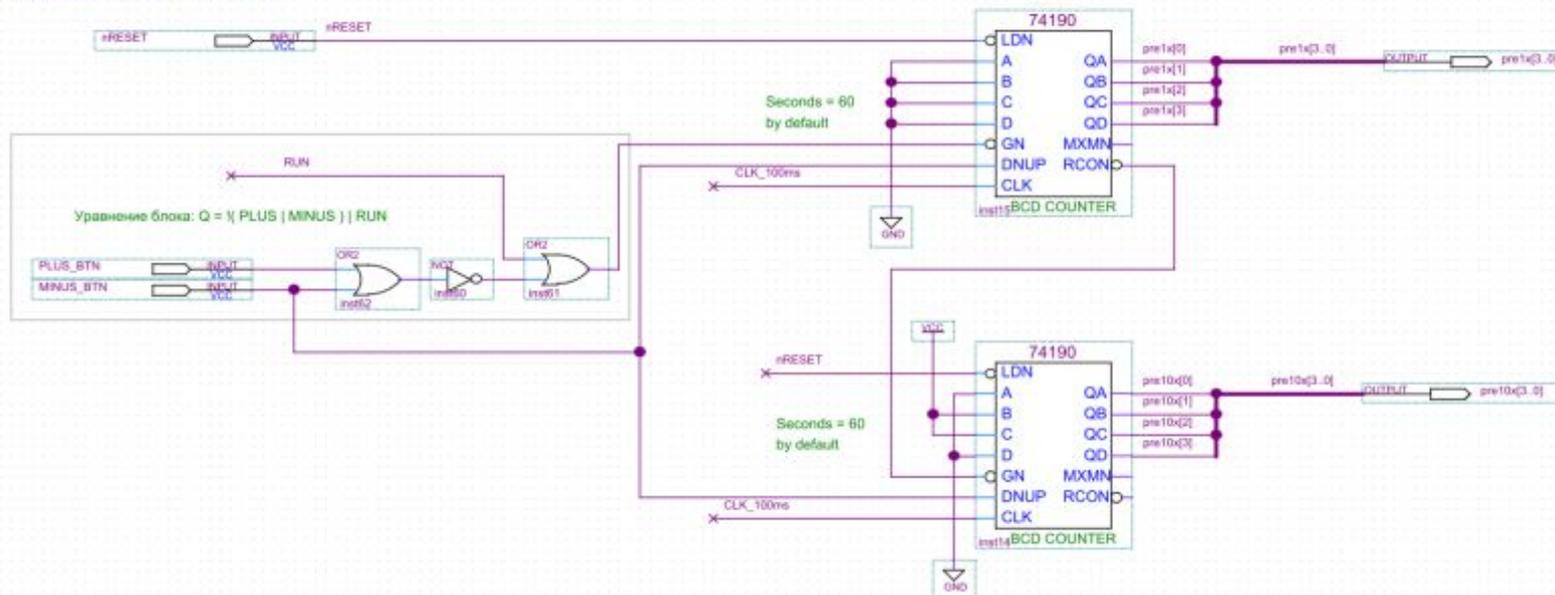
Таймер: блок программирования

Блок программирования таймера

При RUN = 1 изменение содержания счетчиков запрещено установкой лог. 1 на входе GN

При RUN = 0 нажатие на любую из кнопок ***_BTN подает на GN лог. 0, начинается изменение запрограммированного времени на 10 единиц за каждую секунду, пока нажата кнопка

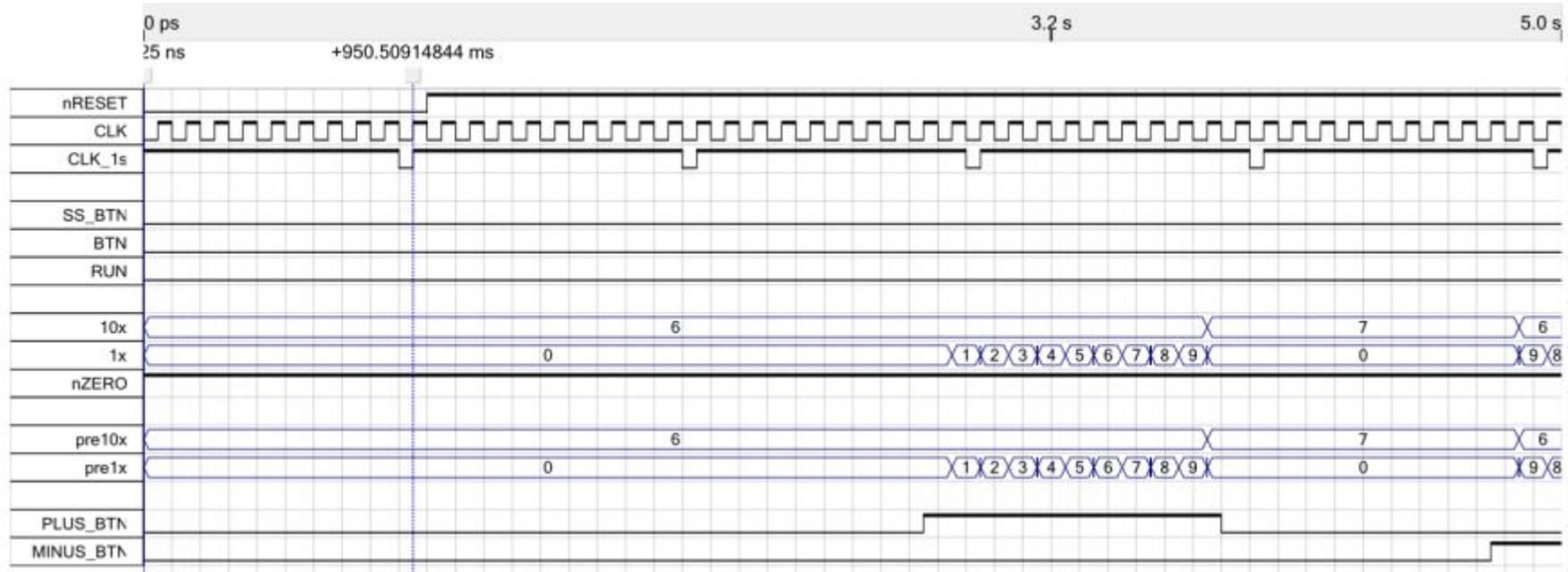
Направление изменения предустановки управляется входами DNUP



- Блок программирования содержит еще один каскадный 2/10 счетчик (составлен из двух), счет разрешен при GN = 0 и запрещен при GN = 1
- Если RUN = 1, GN = 1 и счет запрещен вне зависимости от состояния кнопок PLUS_BTN и MINUS_BTN
- Если RUN = 0, счет разрешен при нажатии **любой** из клавиш (XXX_BTN = 1), при этом:
 - Направление выбирается цепью MINUS_BTN
 - Если кнопка «минус секунды» нажата, DNUP = 1, счет «вниз»

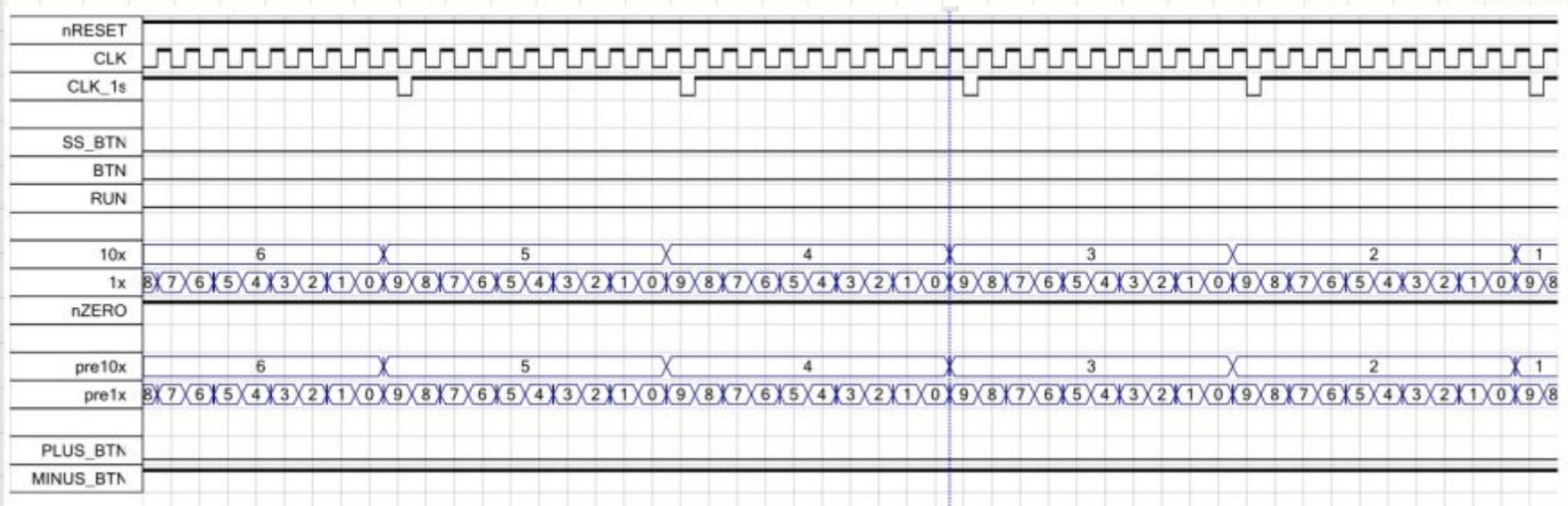
Таймер - моделирование

- Режим программирования:



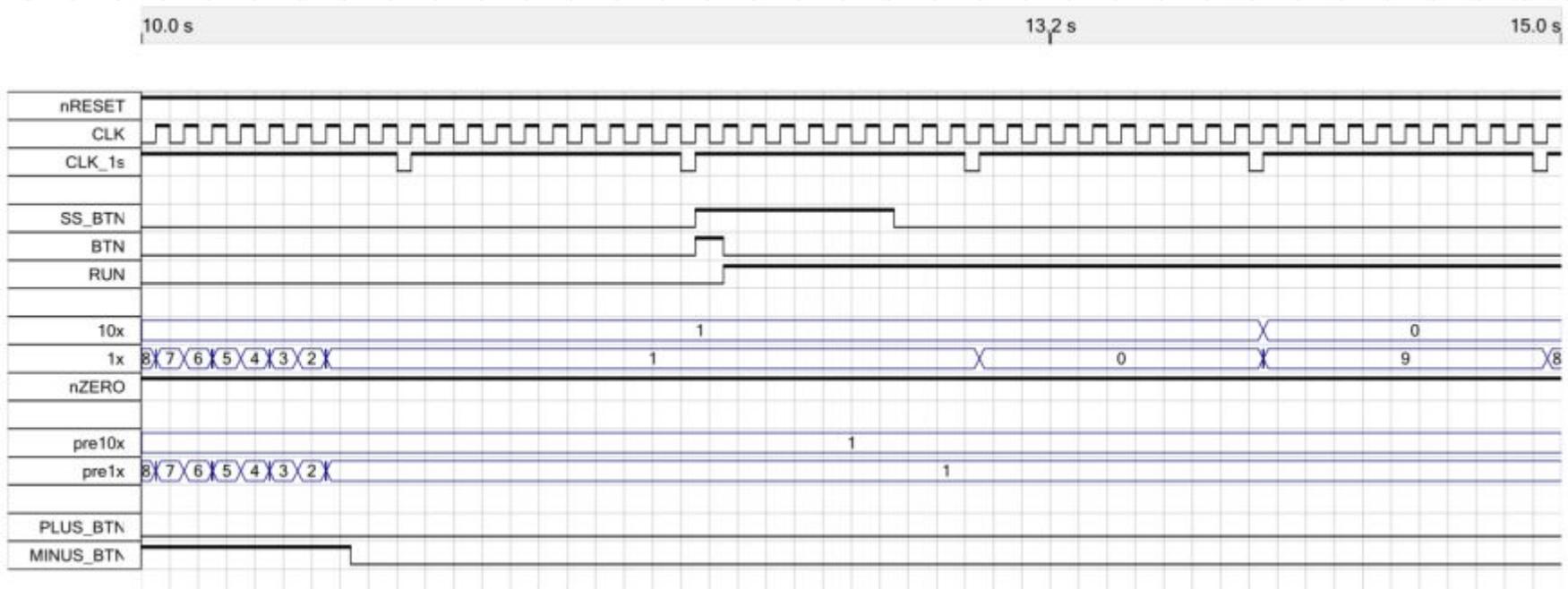
Таймер - моделирование

- Режим программирования:



Таймер - моделирование

- Переход в режим обратного отсчета:



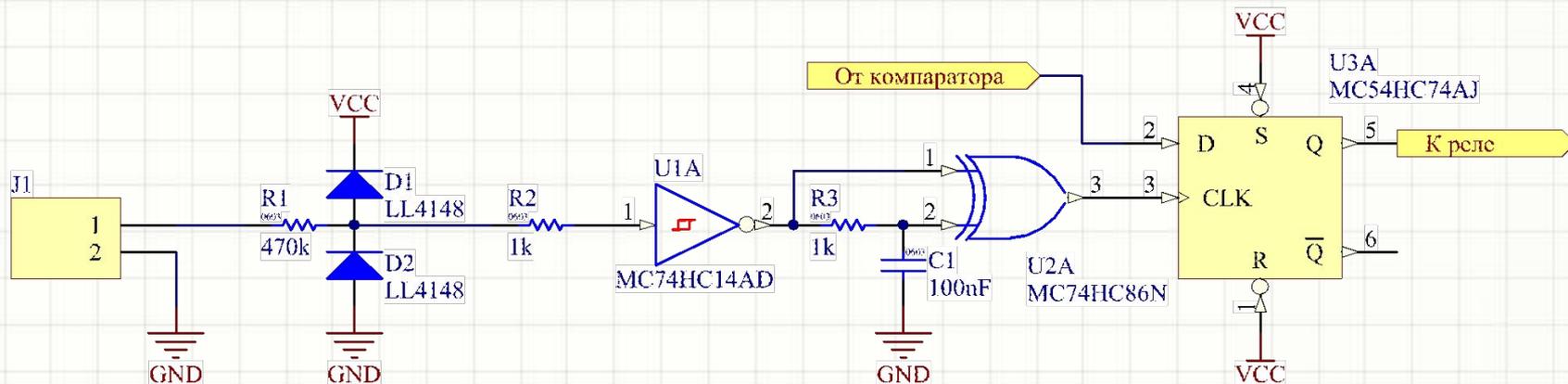
Регуляторы мощности

- Существует три способа управлять мощностью, поддерживая нужный средний уровень мощности на АС-нагрузке:
 - Включать и выключать нагрузку не чаще нескольких раз в секунду при помощи реле:
 - классический термостат.
 - Температура меньше заданной на 1°C – включить нагрузку, выше заданной на 1°C – выключить...
 - см. лекцию про ОУ и аналоговые компараторы
 - Включать и выключать нагрузку на часть полупериодов или полных периодов питающей сети при помощи симистора несколько раз в секунду–
 - Более точный способ регулировать, скажем, температуру нагревательного элемента
 - Подразумевает более частые переключения нагрузки, позволяет снизить колебания той же температуры
 - Все переключения – только в момент «нуля» промышленной сети
 - Включать нагрузку при помощи симистора на часть каждого полупериода – еще более точный способ установки мощности «цифровыми» методами – фазовое управление
 - Переключение нагрузки раз в 10 мс
 - Все включения – в момент времени, когда напряжение не равно нулю – выше уровень помех
 - Переключения с частотой 100 Гц позволяют управлять осветительными приборами – глаз не видит «мерцания»

Управление нагрузкой синхронно с питающей сетью

- Мощные нагрузки при помощи реле следует коммутировать только в моменты времени, когда мгновенное напряжение в сети 220В – нулевое
 - Это продлевает срок службы реле
 - Это снижает уровень создаваемых прибором помех в питающих цепях
- Чтобы выделить моменты прохождения нулевого значения напряжением питающей сети (ZC, «zero-crossing») нужно:
 - Объединить один из полюсов сети с GND или VCC
 - Применить clamp-цепь на 2х диодах и триггер Шмитта 74НС14
 - Применить подход «то, что было, отличается от того, что стало» с применением элемента ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ
 - «Пропустить» выходной сигнал компаратора через D-триггер, тактируемый полученным сигналом

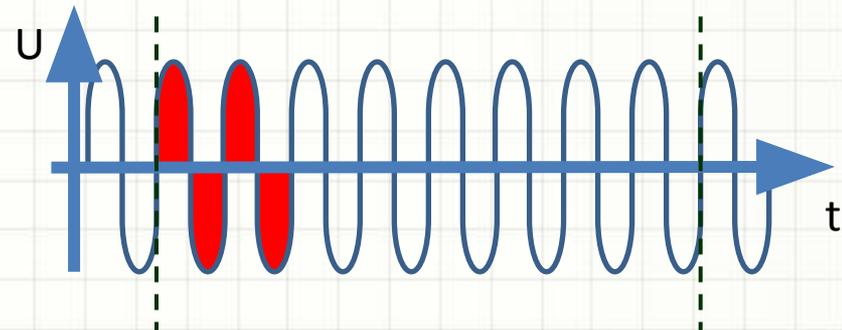
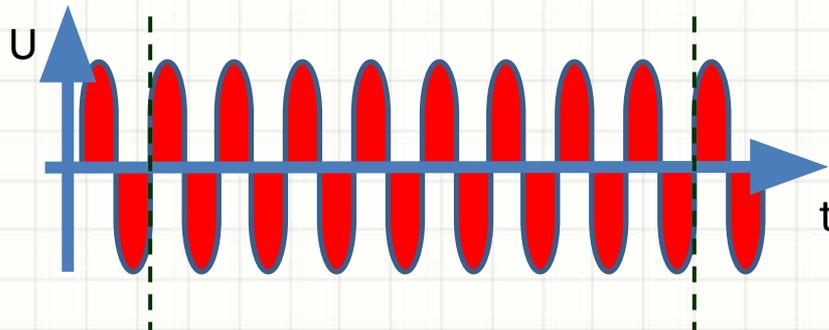
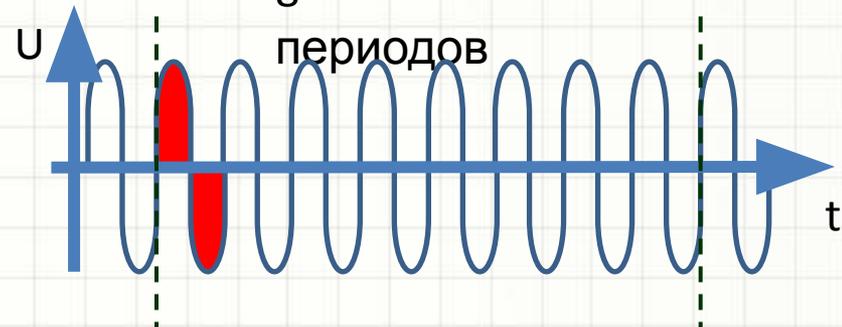
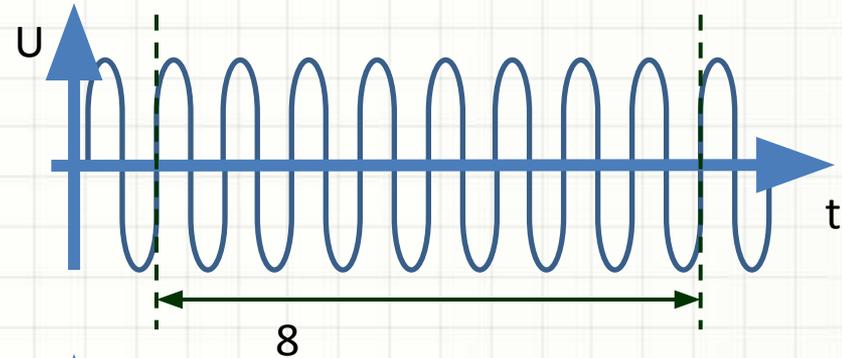
Управление нагрузкой синхронно с питающей сетью



- Подход на рисунке – «аналоговый»
- К разъему J1 подключено напряжение питающей сети, нейтраль объединена с землей
- Элемент ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ сравнивает:
 - Логический уровень, указывающий на текущую полярность (полупериод) питающего напряжения
 - Логический уровень, указывающий полярность в предыдущий момент времени ($\sim 0.7RC$ секунд назад)
- Такой подход – «асинхронщина», возможен только в очень простых цифровых узлах всего с 1-2 триггерами!

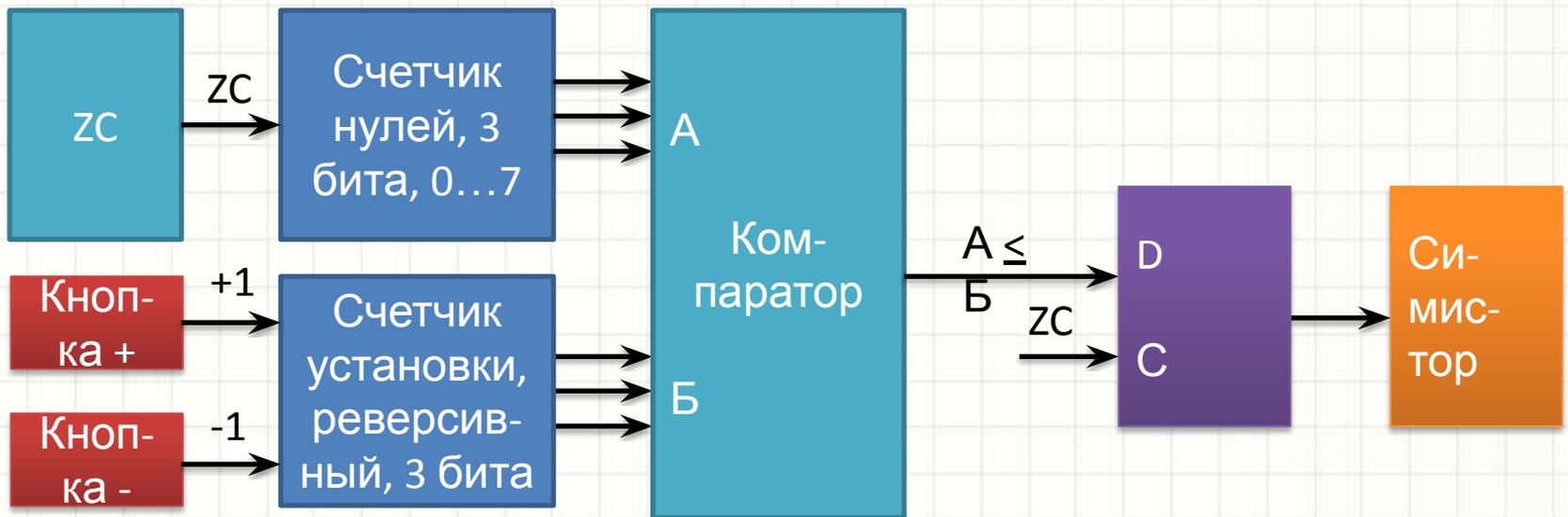
Включение нагрузки на часть полупериодов питающего напряжения

- Подход весьма прост. Предположим, задано 8 уровней мощности
 - Если установлен минимальный уровень – нагрузка включается на один период из восьми
 - Следующий уровень мощности – два периода из восьми
 - ...
 - Максимальный уровень мощности – восемь периодов из восьми, «всегда включено»



Включение нагрузки на часть полупериодов питающего напряжения

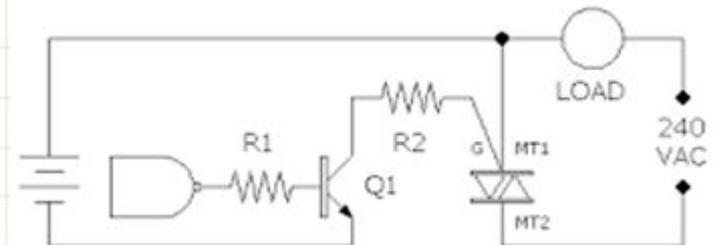
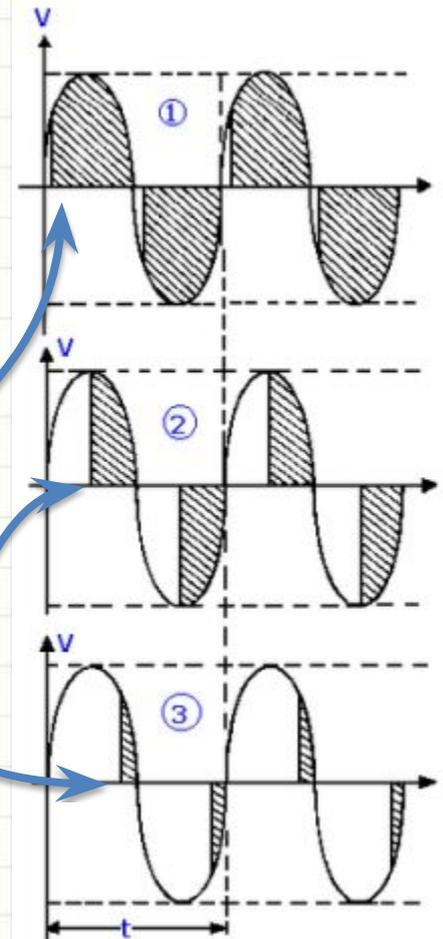
- Блок-схема цифровой части предельно проста (БП не показан):



Фазовое управление симисторами

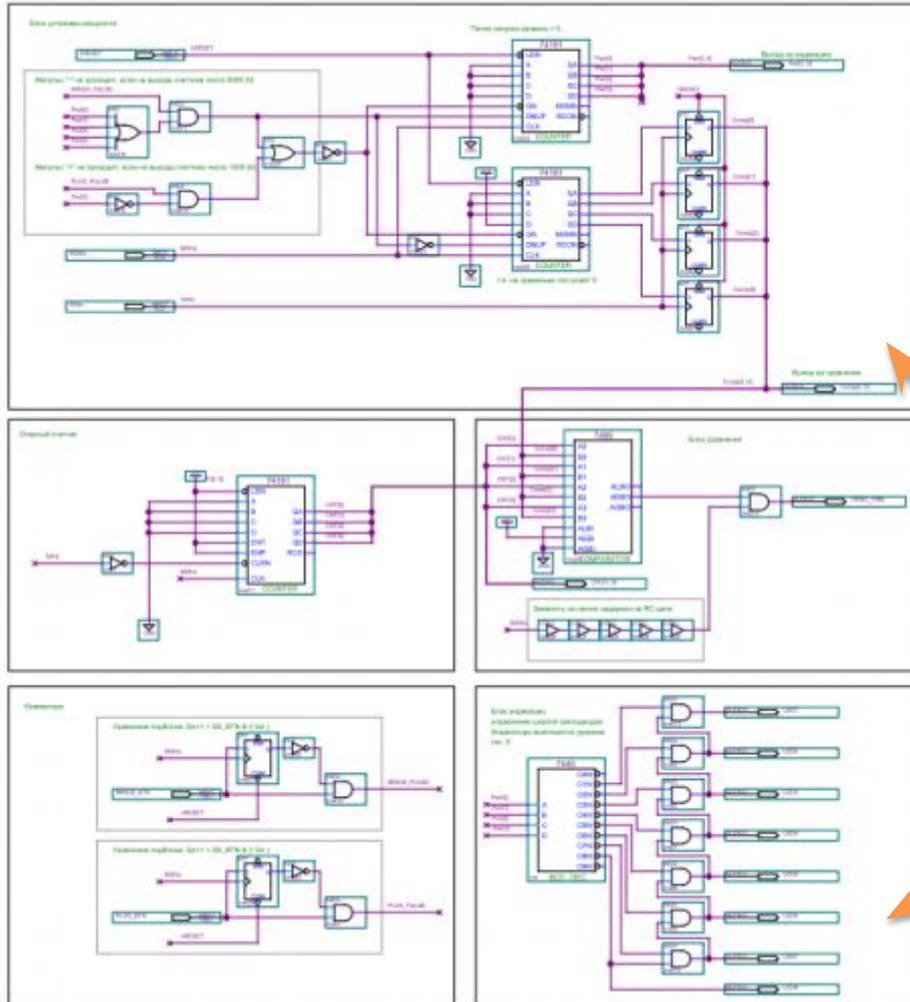
- Принцип похож: чем позднее в пределах полупериода питающей сети включится тиристор (симистор), тем меньшее количество времени он пробудет открытым
- Симистор – полууправляемый прибор:
 - Включается импульсом тока затвора
 - Выключается при прохождении питающим напряжением нулевого значения (**см. раздел по дискретным компонентам**)

положение
e
Импульса
I
затвора



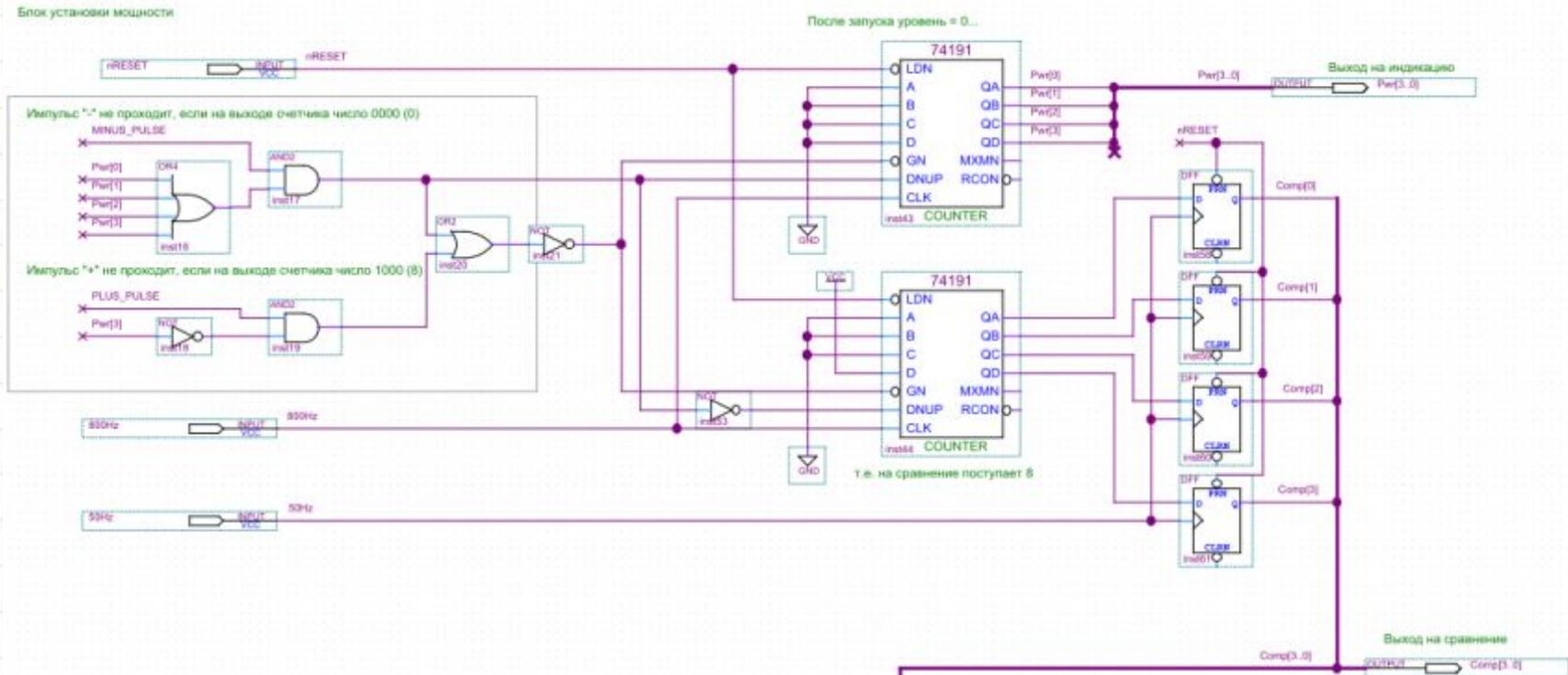
Фазовое управление симисторами

См. PowerControl.pdf, PowerControlSim.pdf.



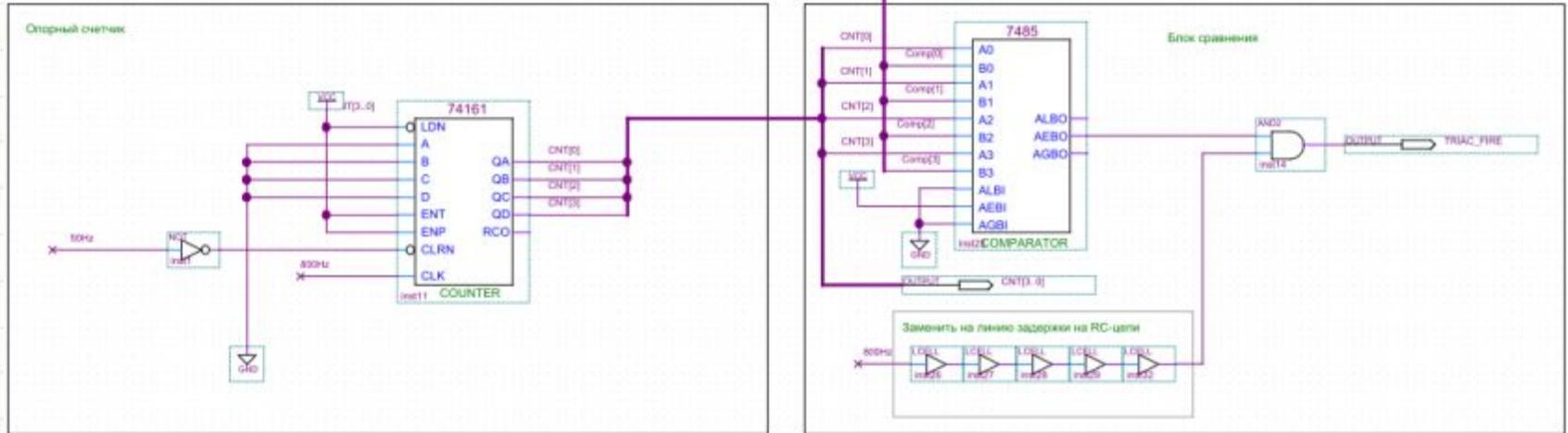
- **Пример полной реализации цифровой части схемы!**
- Схема регулятора мощности со шкальным индикатором (8 светодиодов) включает в себя:
 - Блок установки мощности
 - Опорный счетчик (считает интервалы внутри полупериода) и компаратор
 - Блок ввода-вывода (кнопки, индикаторы)

Блок установки мощности



- Счетчики считают 74191 в противоположных направлениях и имеют ограничение счета (уровень мощности Pwr[3..0] изменяется в пределах 1...8, 0 – нагрузка отключена)
- Верхний счетчик генерирует число для индикации (Pwr[3..0]), нижний – число для сравнения с опорным счетчиком (Comp[3..0]) и открытия симистора.
- Можно обойтись одним счетчиком и блоком инверторов. **А как?**
- MINUS_PULSE и PLUS_PULSE – выходы блока клавиатуры

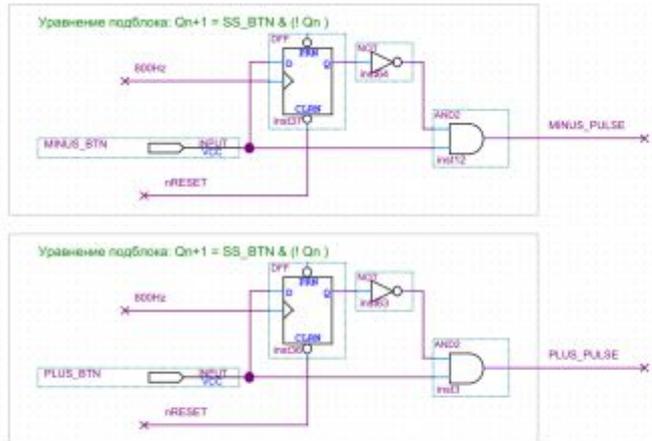
Опорный счетчик и сравнение



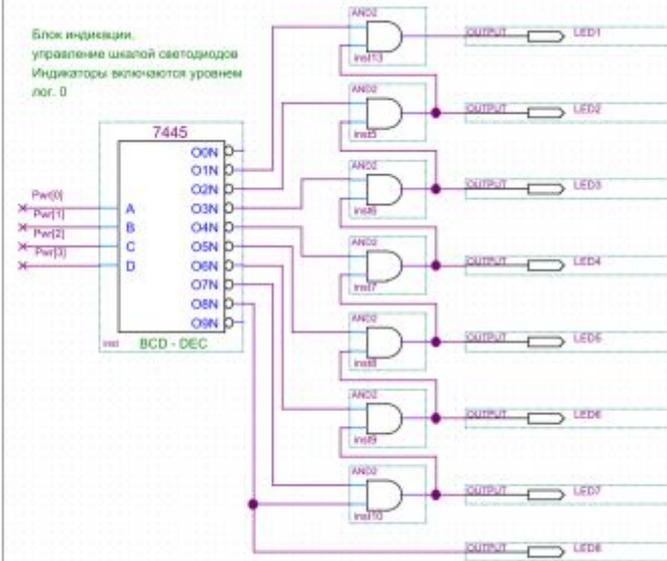
- Опорный счетчик 74161 считает на увеличение и сбрасывается короткими «отрицательными» импульсами 50Hz от аналогового детектора нуля напряжения (не показано)
- Блок сравнения на компараторе 7485 выдает короткий импульс при равенстве числа с опорного счетчика и запрограммированного числа Comp
- Схема выполнена в «асинхронной» манере и нуждается в усовершенствовании

Кнопки, индикация

Клавиатура



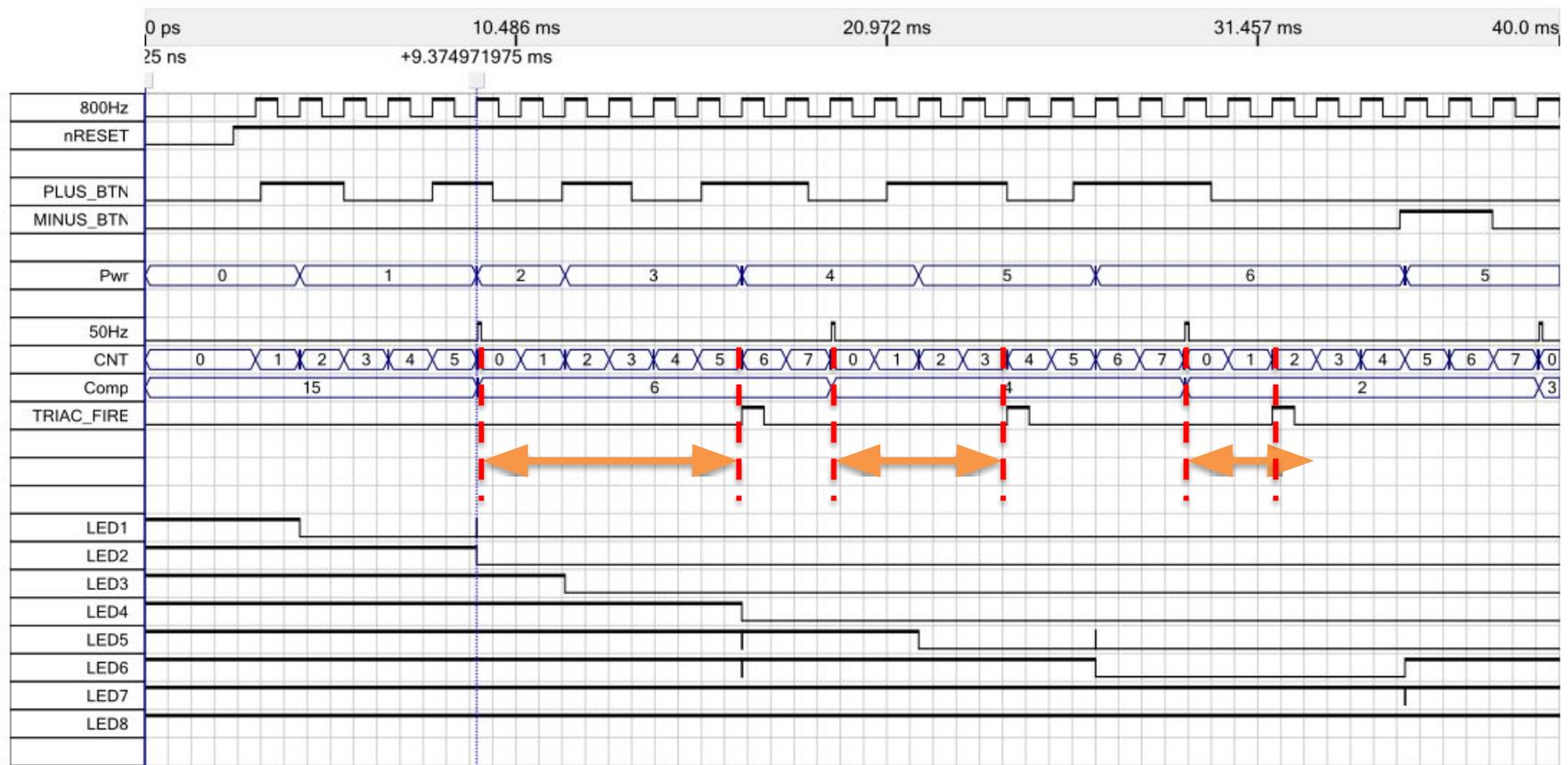
Блок индикации.
управление шкалой светодиодов
Индикаторы включаются уровнем лог. 0



- Особенности этих блоков нам уже известны:
 - Схема выделения фронтов в цепях кнопок (первичные триггеры защиты отдребезга не показаны)
 - Шкальный индикатор на дешифраторе и

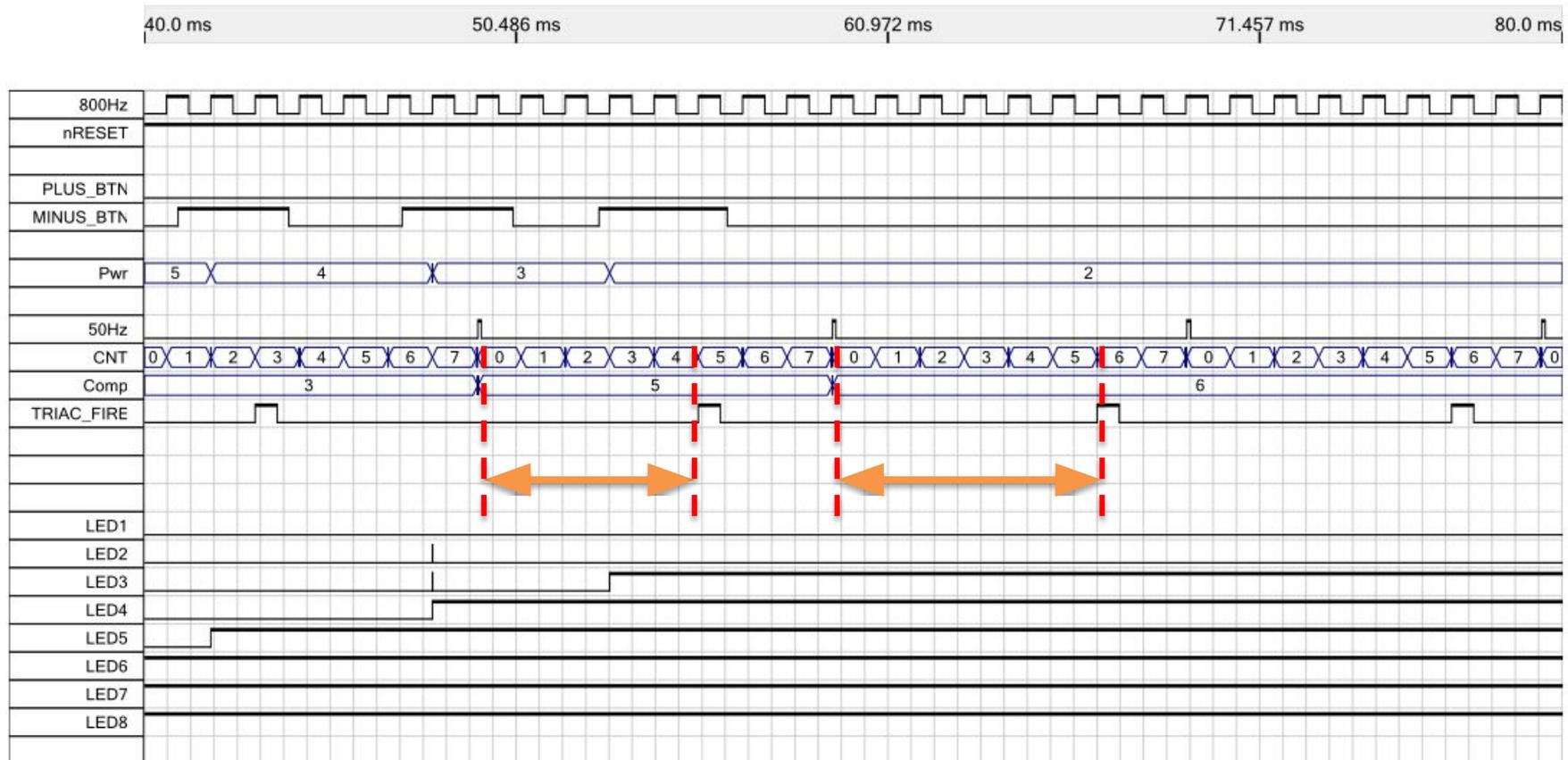
Фазовое управление симисторами - моделирование

- Процесс увеличения мощности: положение импульса открытия симистора TRIAC_FIRE смещается к началу полупериода



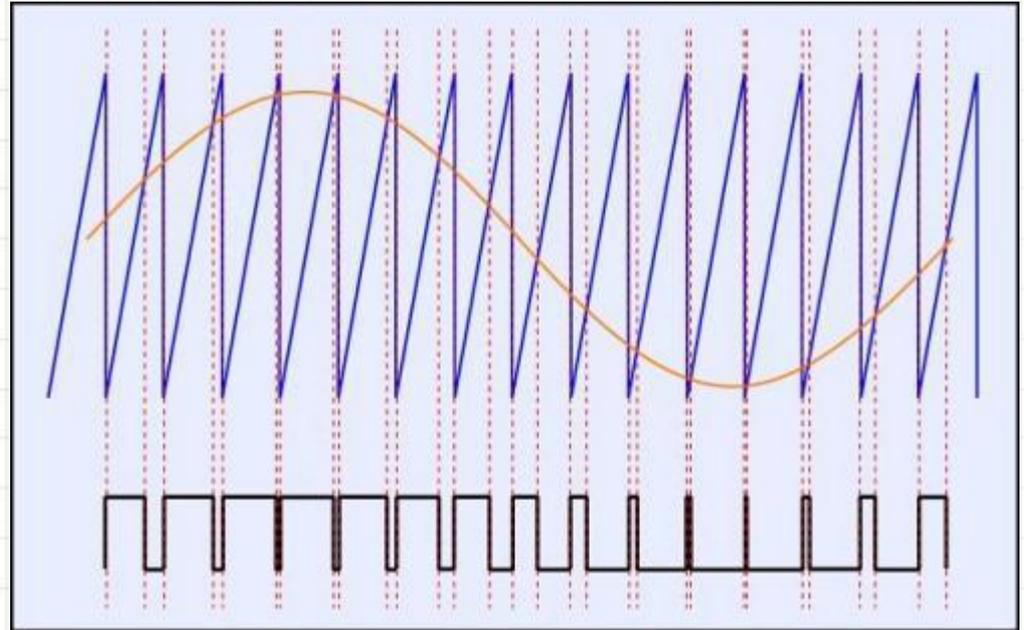
Фазовое управление симисторами - моделирование

- Процесс уменьшения мощности: положение импульсов TRIAC_FIRE смещается к концу полупериода



Управление мощностью (ШИМ)

- Широтно импульсная модуляция, PWM (pulse-width modulation)
- Модулируемая величина представляется как скважность сигнала при неизменной частоте



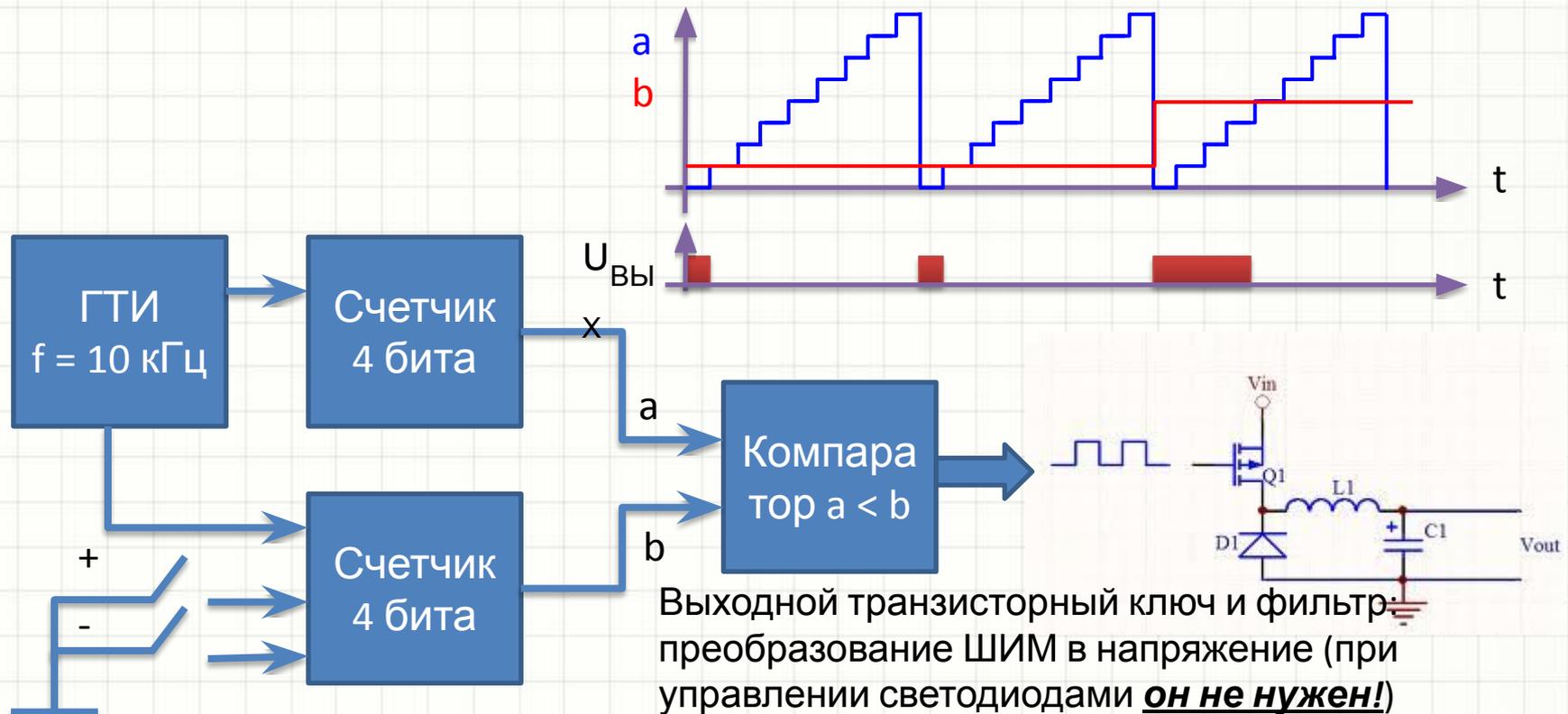
- ШИМ-модулятор всегда состоит из генератора пилообразно меняющегося сигнала, имеющего частоту *несущей* ШИМ и компаратора, сравнивающего:
 - Этот пилообразный сигнал
 - Модулируемый сигнал или величину
- Выход ШИМ = 1, если модулируемый сигнал > пилообразный сигнал
- Выход ШИМ = 0, если модулируемый сигнал < пилообразный сигнал

Управление мощностью

(ШИМ)

Аналоговый ШИМ-модулятор сравнивает аналоговые сигналы (обычно – напряжения) и использует аналоговый компаратор (LM393 и т.д.).
Требует ГЛИН

- Цифровой ШИМ-модулятор сравнивает числа:
 - Одно число поступает со счетчика
 - Второе число – модулируемая величина
- Пример – регулятор яркости светодиодного светильника, 16 градаций яркости:



Приборы – цифровые автоматы

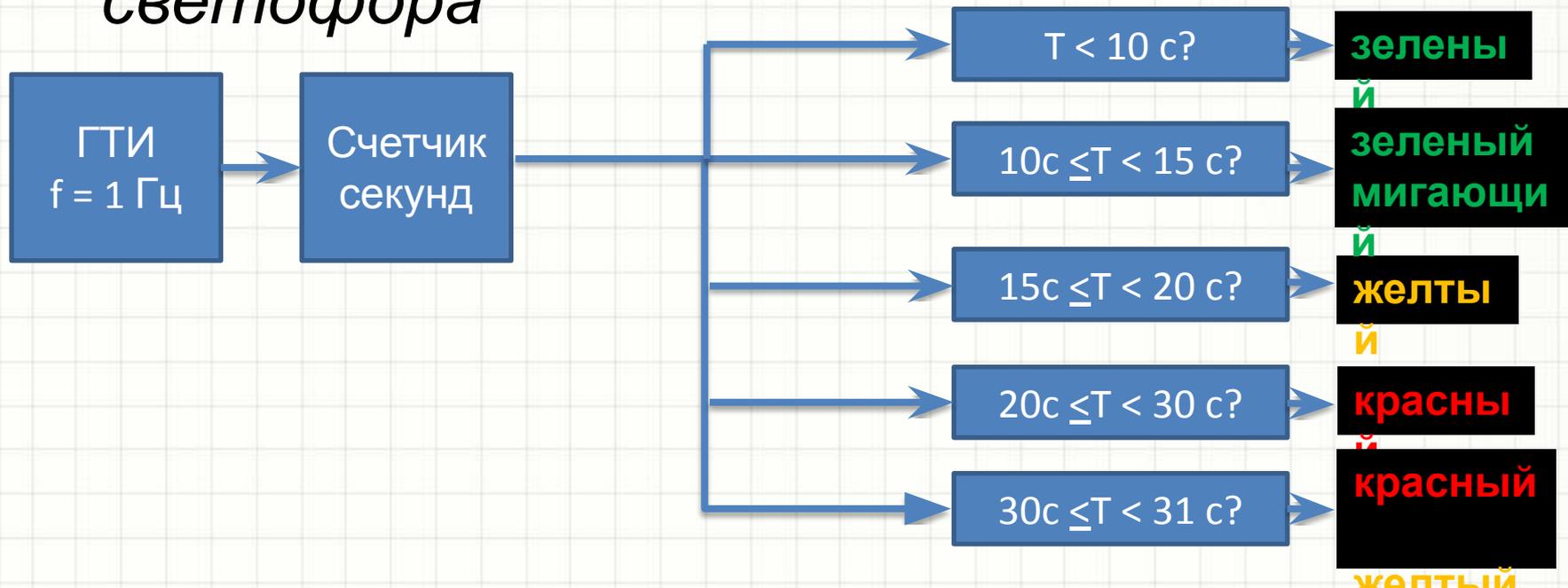
- Речь идет о приборах с жестко заданной временной диаграммой цикла работы – циклограммой
- Типичные примеры:
 - Светофоры
 - Гирлянды
 - Системы тактирования ПЗС-устройств
 - Автоматика управления процессами без обратной связи (включение и выключения нагрузок по «расписанию»)

Цифровые автоматы

- Типичный пример – «светофор». Его контроллер включает в себя:
 - Счетчик времени (секунд). Посчитывает число секунд, прошедших с начала очередного цикла работы
 - Устройства сравнения числа прошедших секунд с заданными константами
 - Триггеры, устраняющие «дребезг» из выходных сигналов
 - Вспомогательную логику
- **Пример полной реализации цифровой части схемы!**

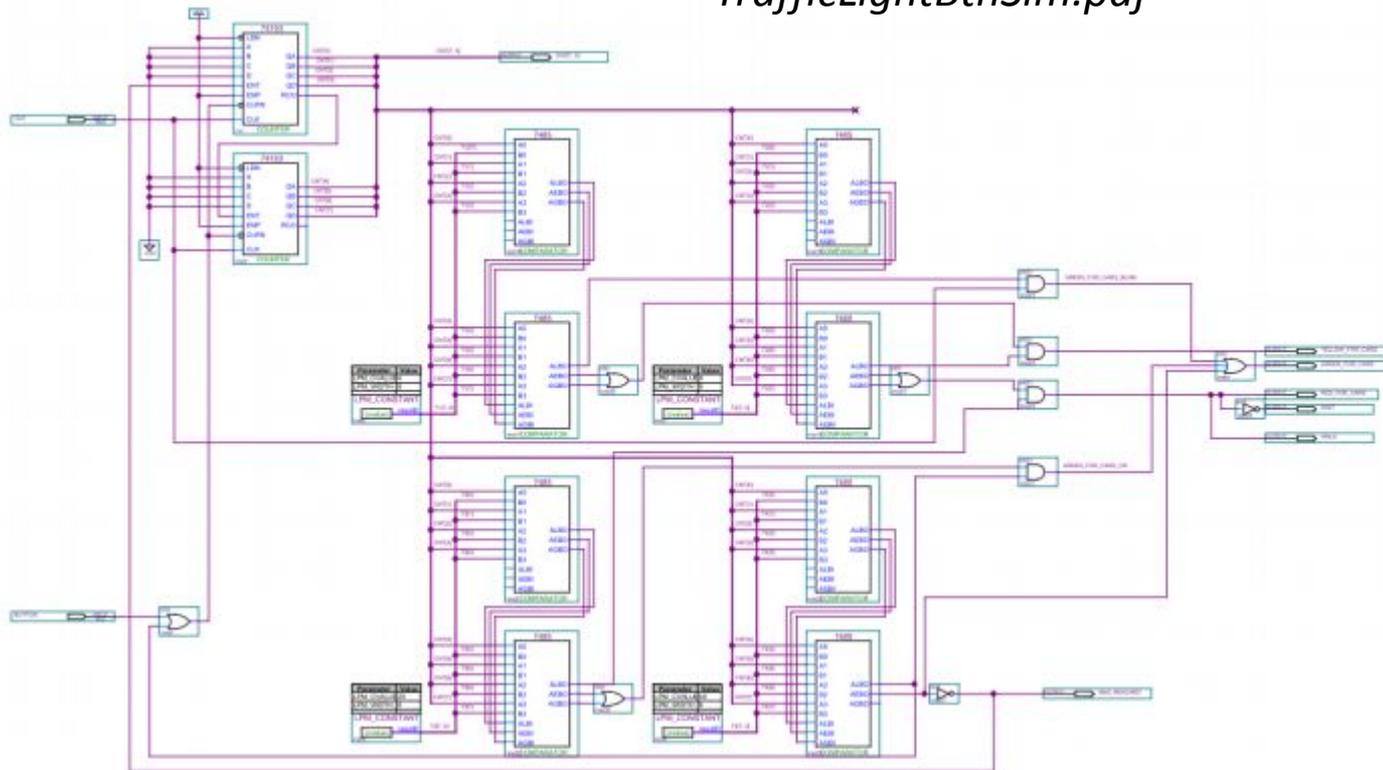
Светофор

- «Светофор» работает так же, как работал бы человек: *смотри на секундомер и сравнивай секунды с таблицей. По результатам сравнения включай лампы светофора*



Светофор

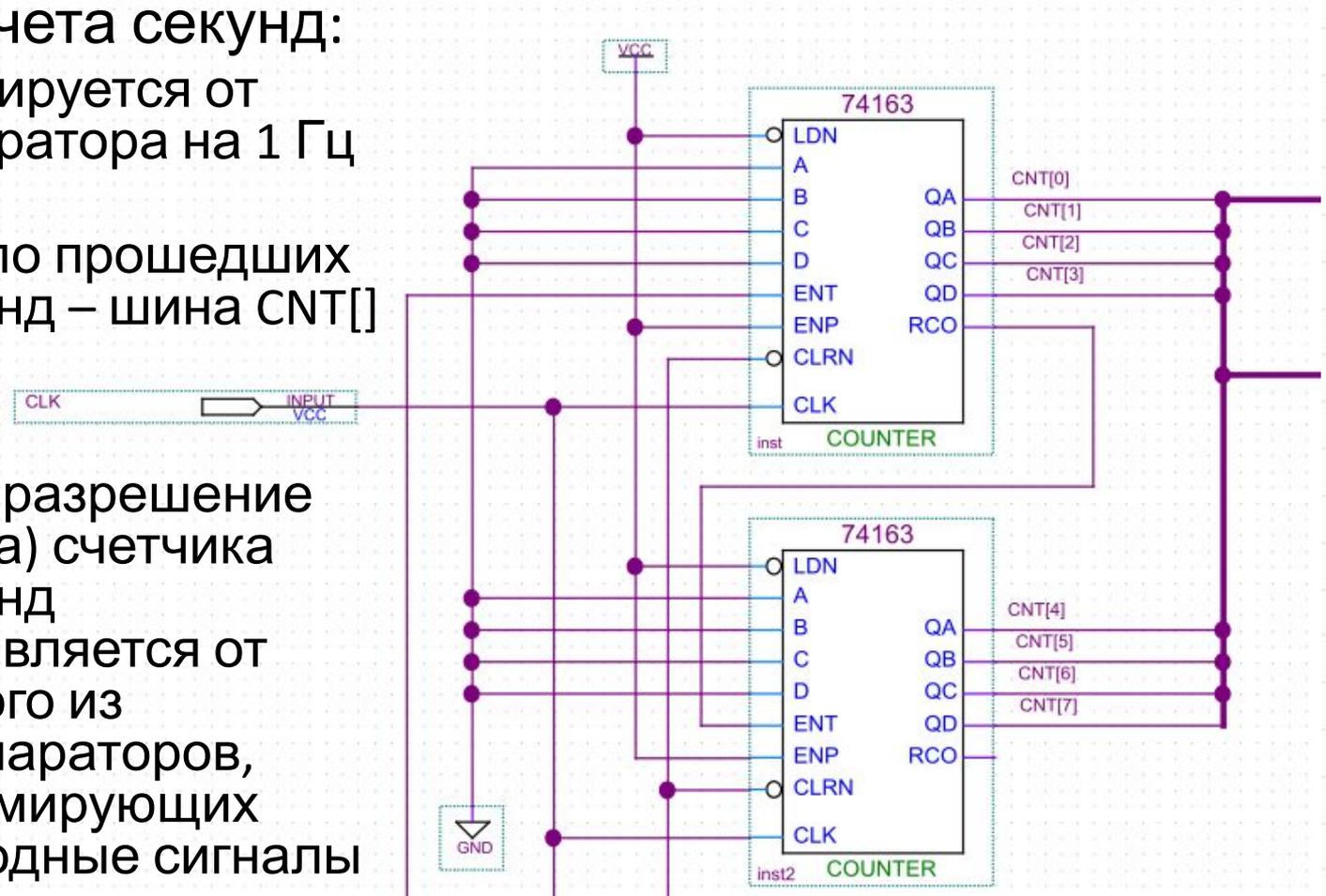
См. *TrafficLightBtn.pdf*,
TrafficLightBtnSim.pdf



- Показана схема светофора вызывного действия без схемы защиты от «дребезга» по выходу
- Отработав, контроллер «зависает», останавливая счетчик на максимальном значении секунд
- Кнопка перехода перезапускает счетчик с нуля

Светофор

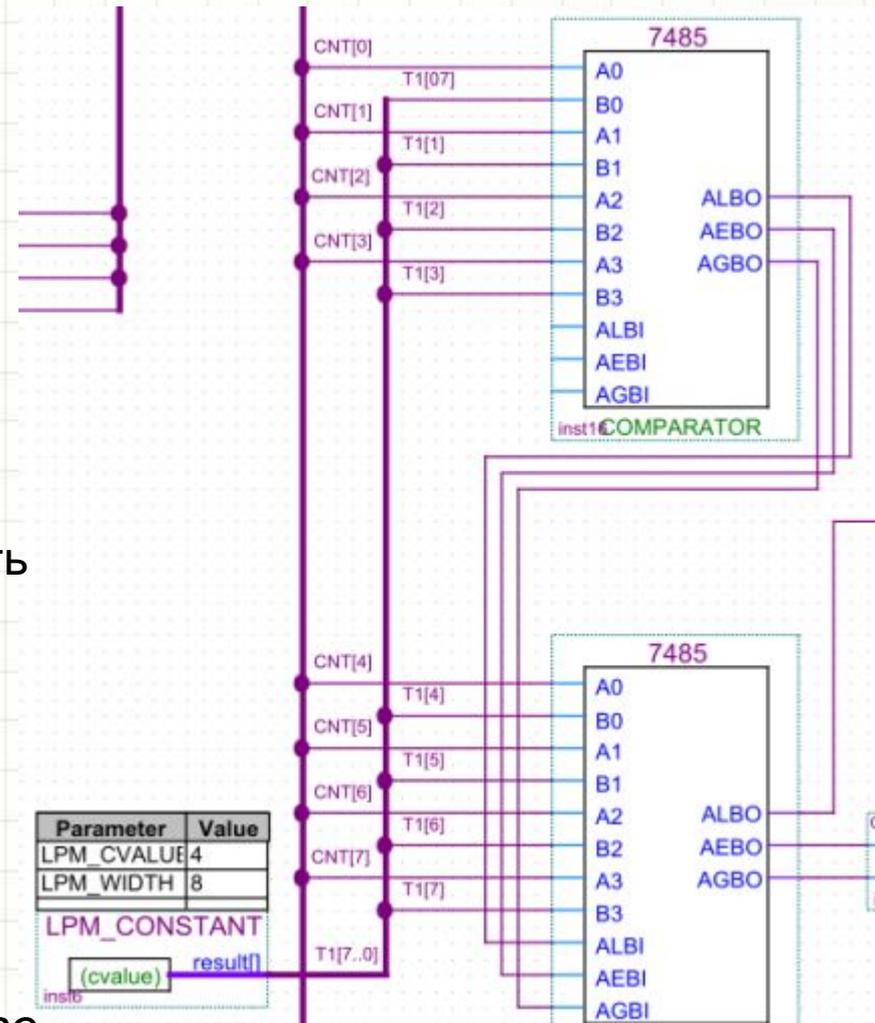
- Блок счета секунд:
 - Тактируется от генератора на 1 Гц (CLK)
 - Число прошедших секунд – шина CNT[]
 - ENT (разрешение счета) счетчика секунд управляется от одного из компараторов, формирующих выходные сигналы



Светофор

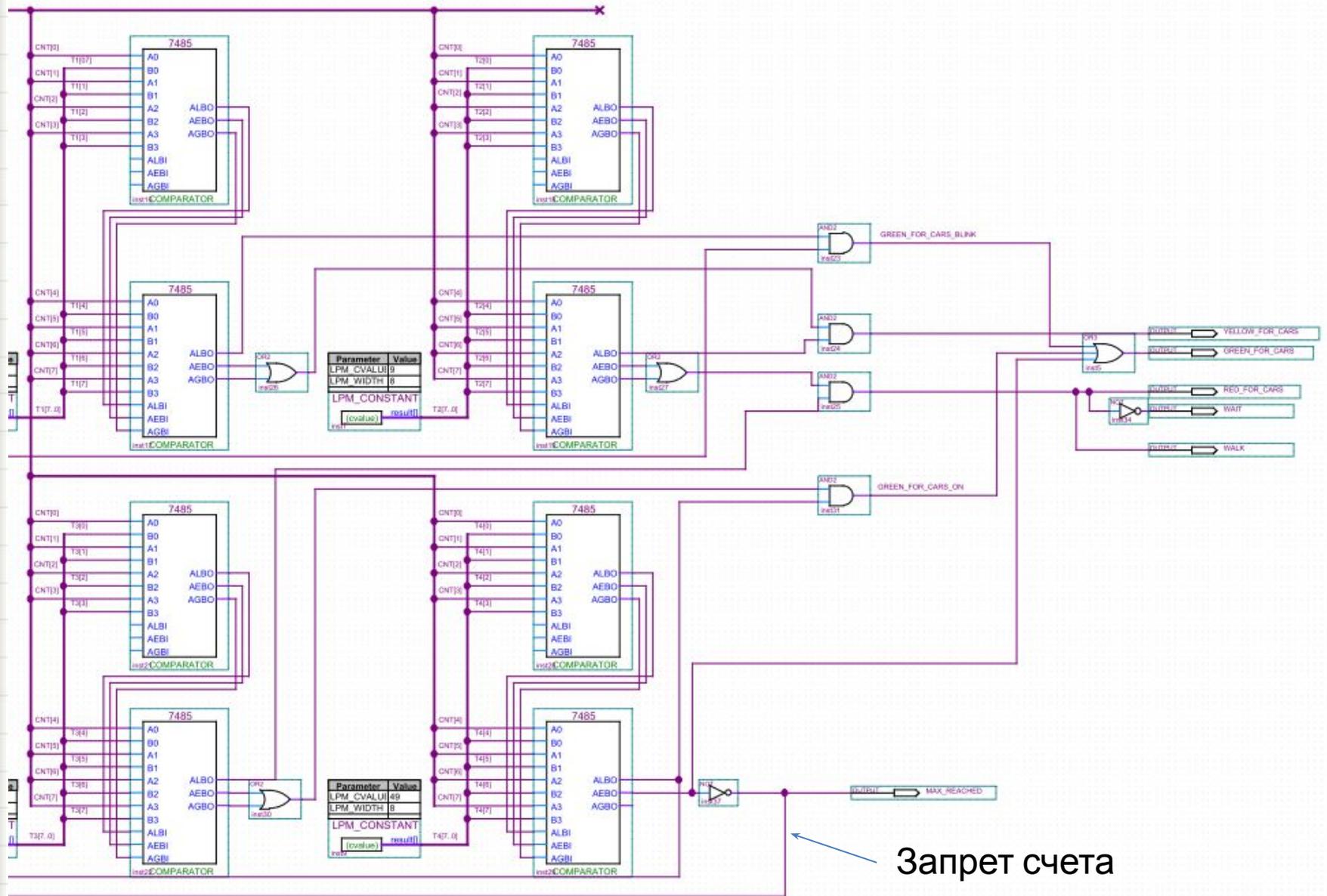
- Блок сравнения времени:
 - И счетчики, и компараторы каскадированы для получения нужной разрядности
 - Каскадирование счетчиков мы рассмотрели на примере подсчета событий в системе «2/10»
 - Каскадирование компараторов идеологически похоже и рассмотрено выше
 - В реальной схеме «бросать» входы в воздухе нельзя (сделать $AEVI = 1$, остальные = 0)

- «Старший» компаратор в каскаде считает, что 8-разрядные слова равны, если равны подключенные к нему старшие полубайты, и «малдший» компаратор в каскаде сообщает о равенстве младших полубайтов

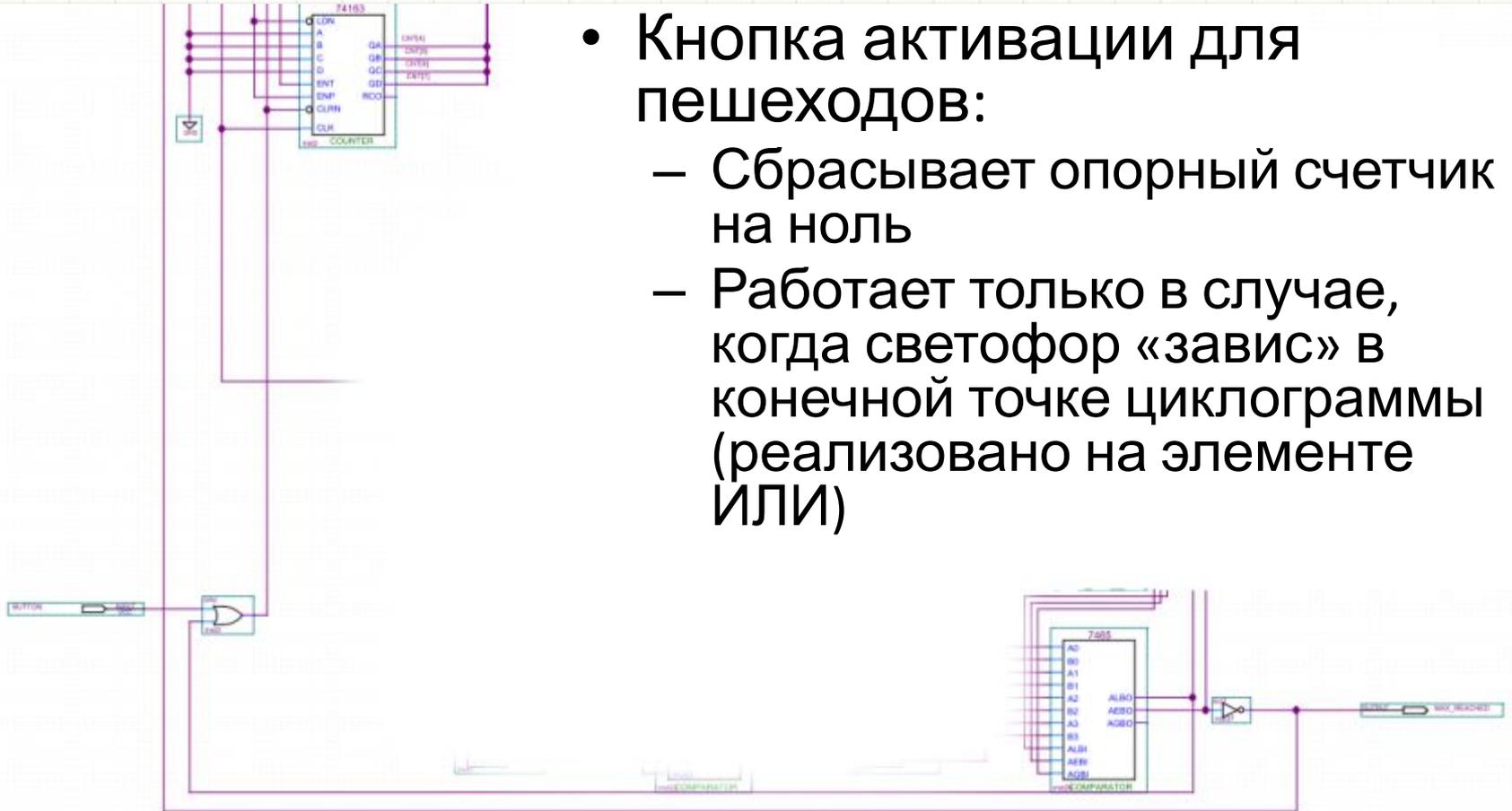


Светофор

- Блок сравнения



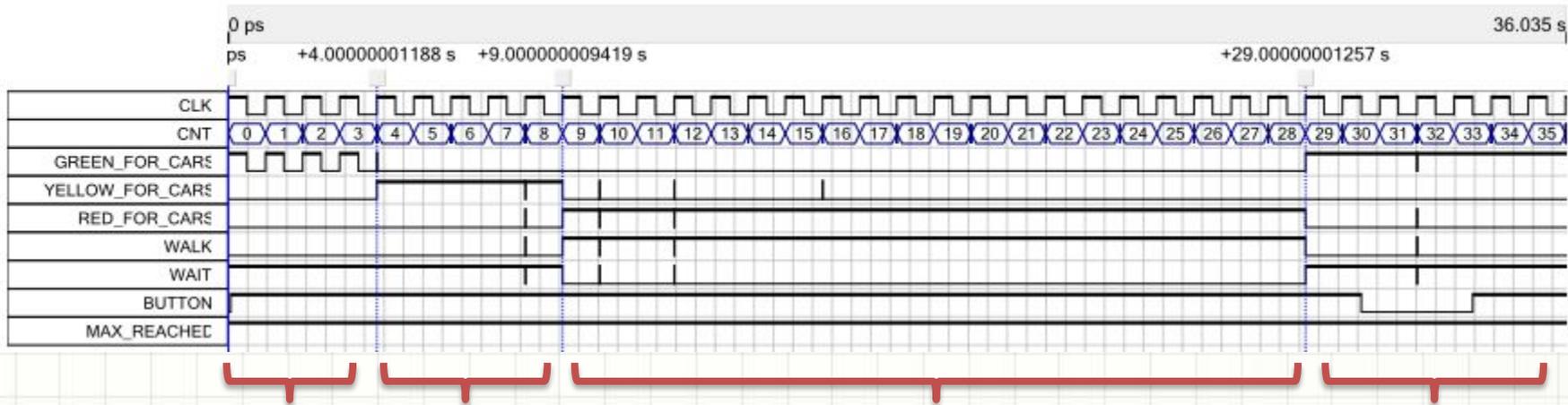
Светофор



- Кнопка активации для пешеходов:
 - Сбрасывает опорный счетчик на ноль
 - Работает только в случае, когда светофор «завис» в конечной точке циклограммы (реализовано на элементе ИЛИ)

Светофор – результаты моделирования

- Работа светофора после подачи питания или сброса кнопкой:



Зеленый
мигающи
й
машинам

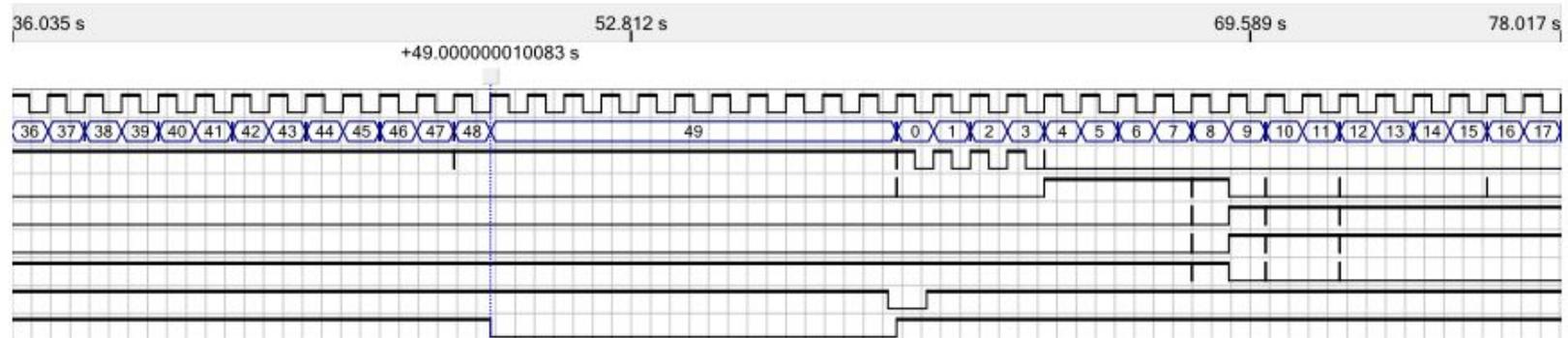
Желтый
машинам

Красный машинам, зеленый
пешеходам

Зеленый
машинам,
кнопка
игнори-
руется!

Светофор – результаты моделирования

- Режим остановки счетчика в конце циклограммы:

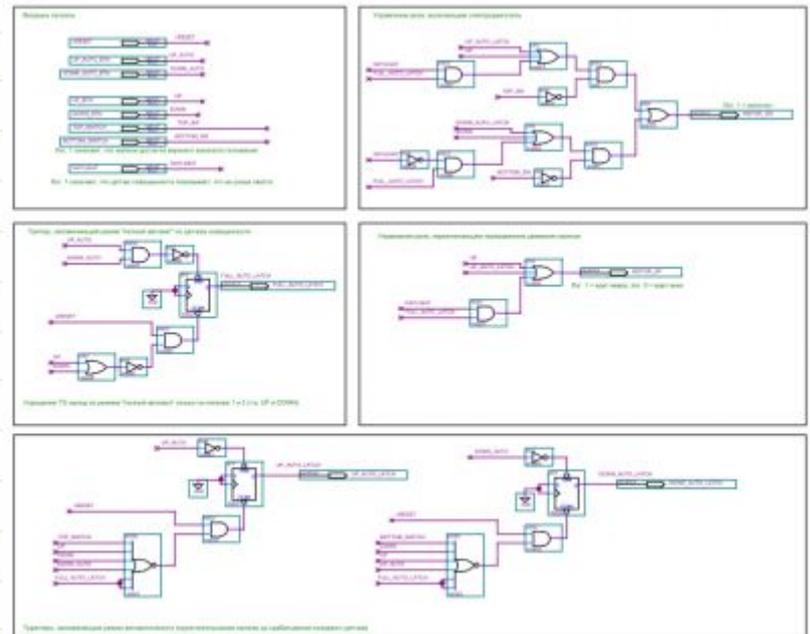


Счетчик «завис»,
отсчитав 50 секунд
(MAX_REACHED = 0)

Кнопка активации сбросила
счетчик, циклограмма
перезапустилась

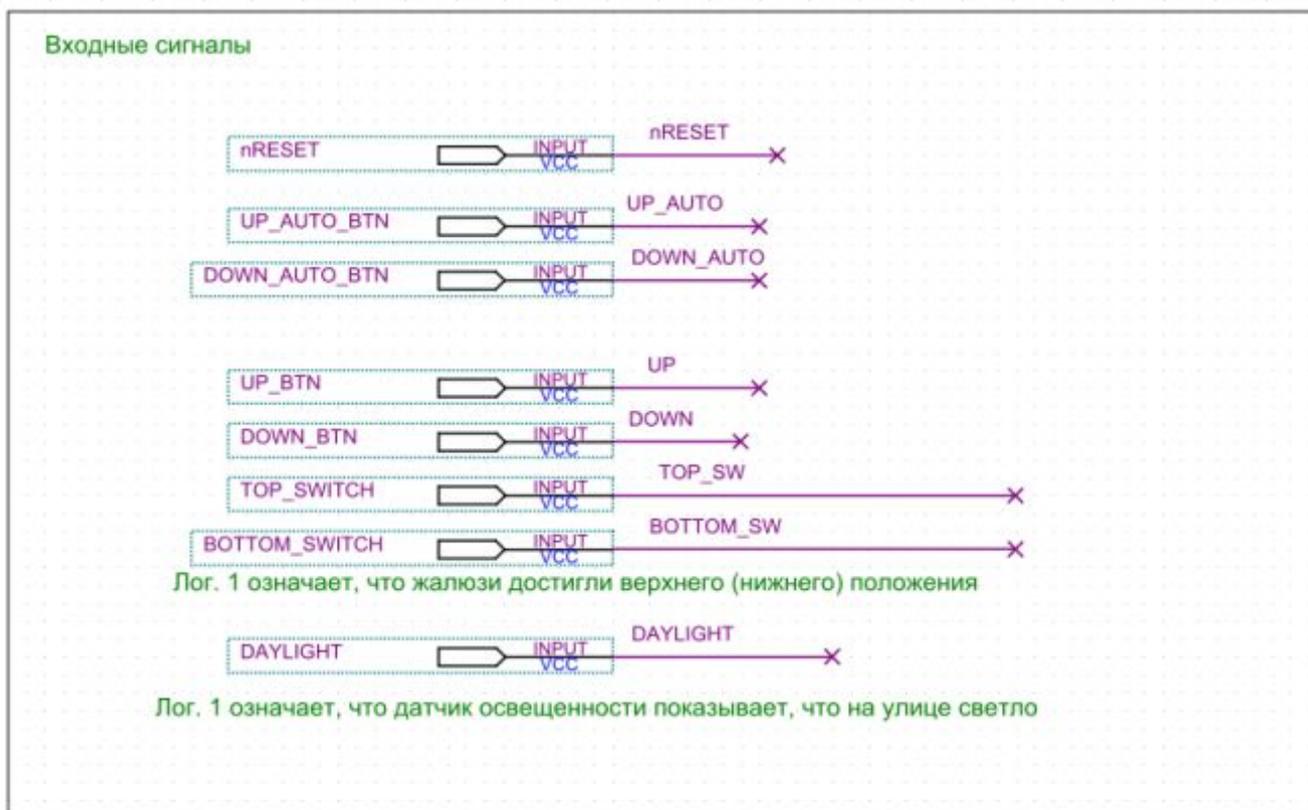
Простая автоматика

- Пример, который плохо ложится на классификацию заданий – автомат управления жалюзи с мотором:
 - Направление движения меняется сменой состояния переключающего SPDT-реле
 - Вкл. и выкл. двигателя – SPST-реле
 - Есть датчик освещенности: аналоговая часть – фотодиод и компаратор.
 - Лог. «1» = на улице светло
 - Есть 4 кнопки: «вверх», «вниз», «вверх автоматически», «вниз автоматически» (отпускание кнопок не прерывает движения жалюзи)
 - Есть 2 концевых датчика : лог. «1» - достигнуто крайнее положение
 - Включение автоматического режима по датчику освещенности – одновременное нажатие кнопок «вниз/вверх автоматически», выключение – нажатие кнопки «вверх» или «вниз»
- **Пример полной реализации цифровой части схемы!**



Автоматические жалюзи

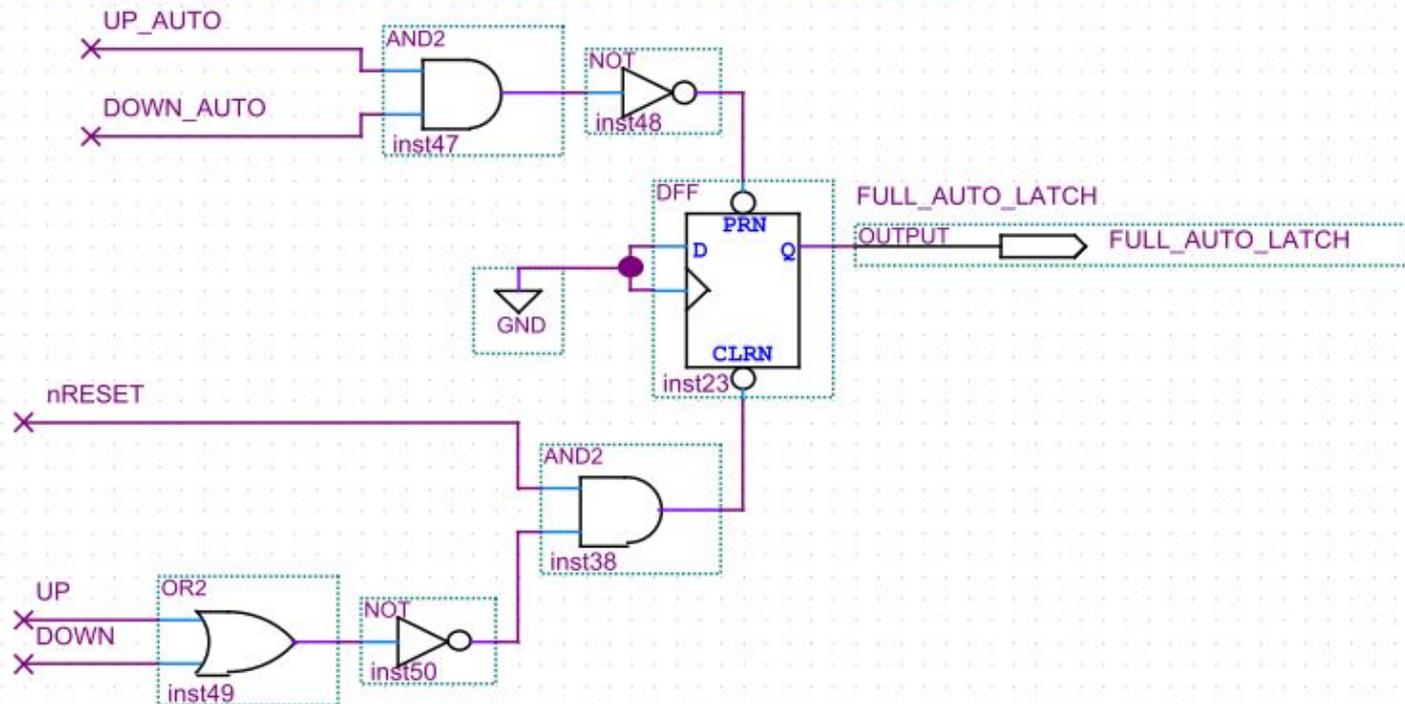
- Входные сигналы:



- Нажатие на кнопки создает лог «1» в цепях ****BTN, схема защиты отдребезга не показана!

Автоматические жалюзи

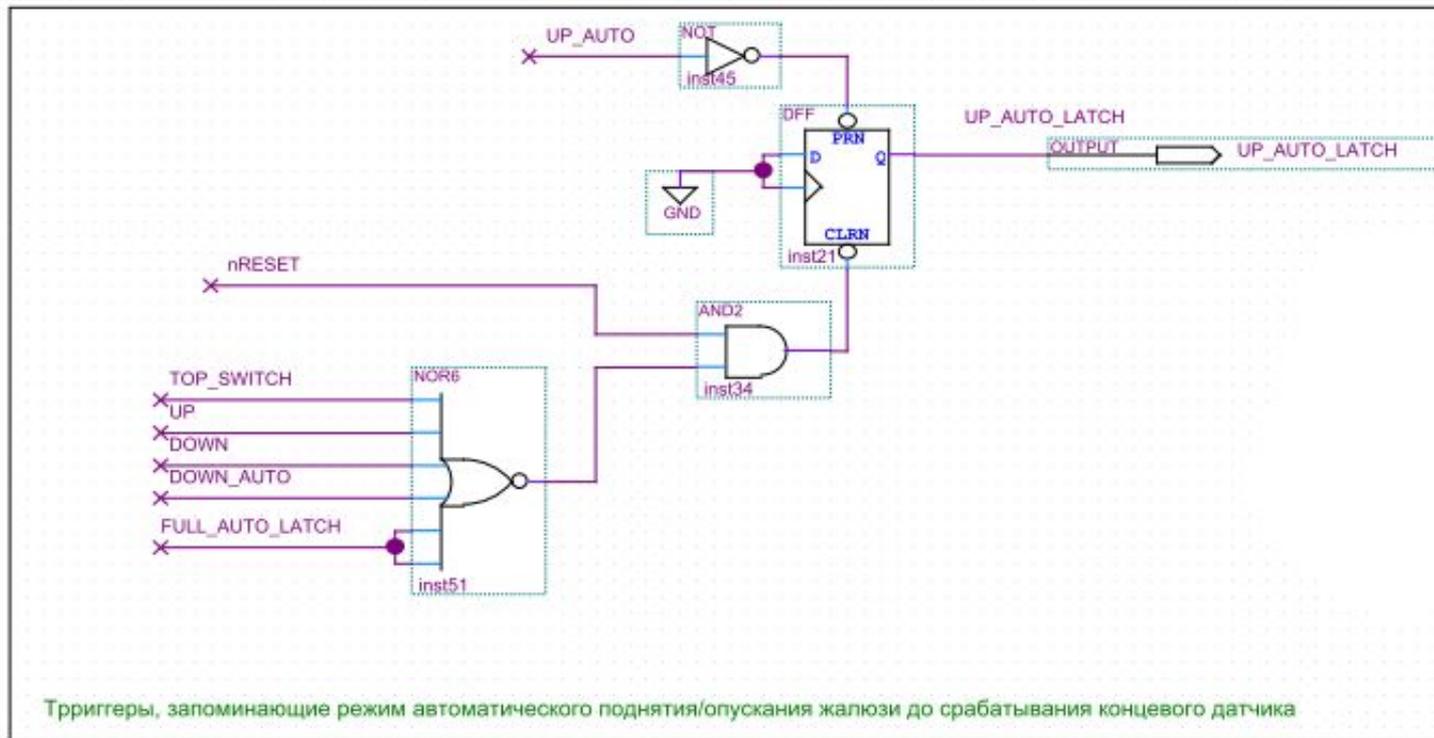
Триггер, запоминающий режим "полный автомат" по датчику освещенности



Упрощение ТЗ: выход из режима "полный автомат" только по кнопкам 1 и 2 (т.е. UP и DOWN)

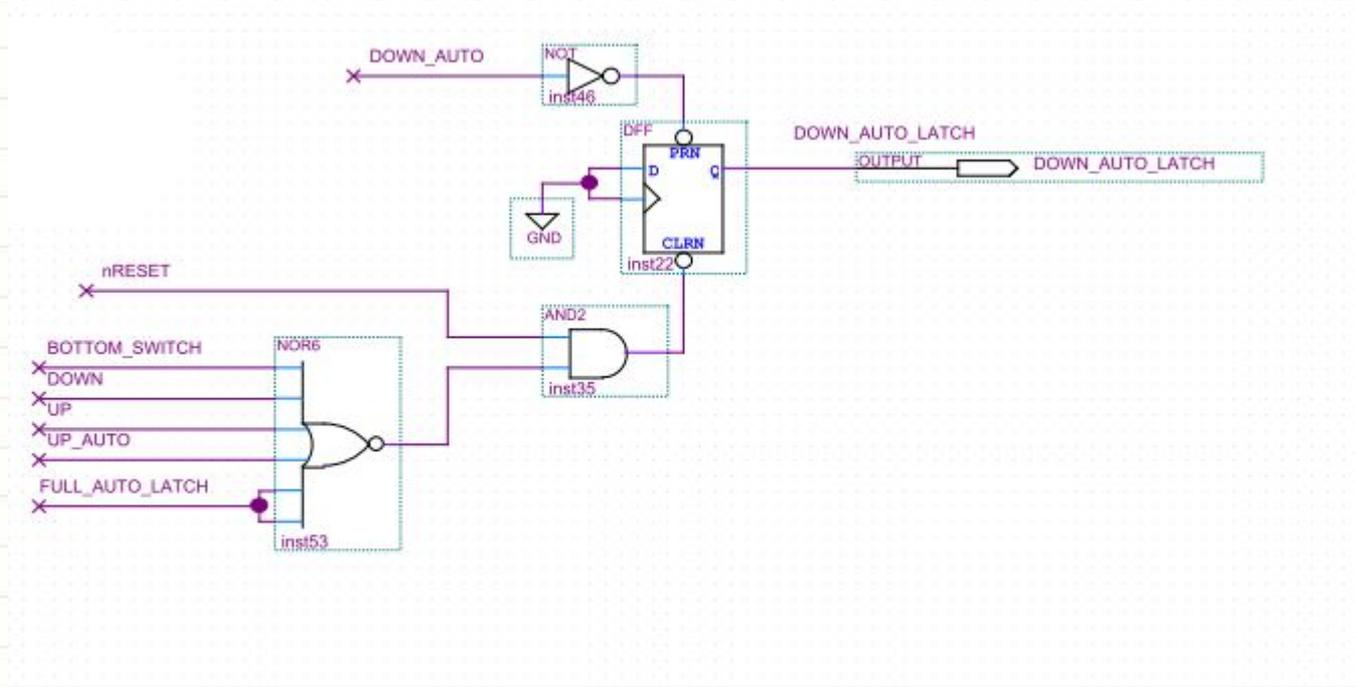
Автоматические жалюзи

- Триггер, выход которого заставляет жалюзи подняться вверх до конца:



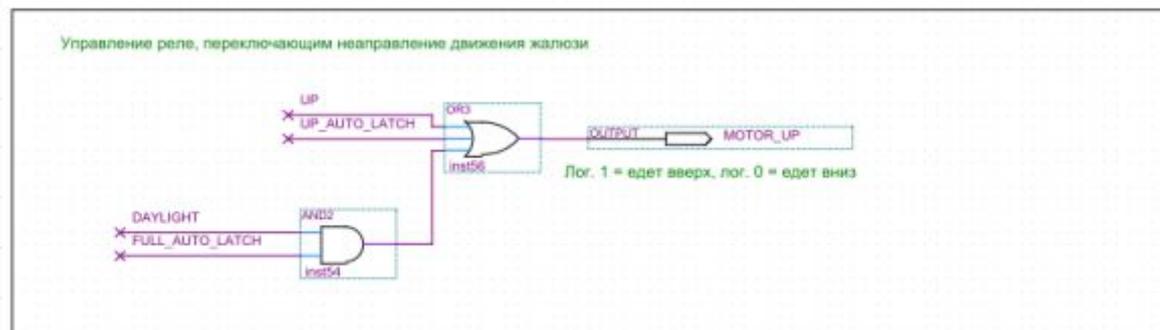
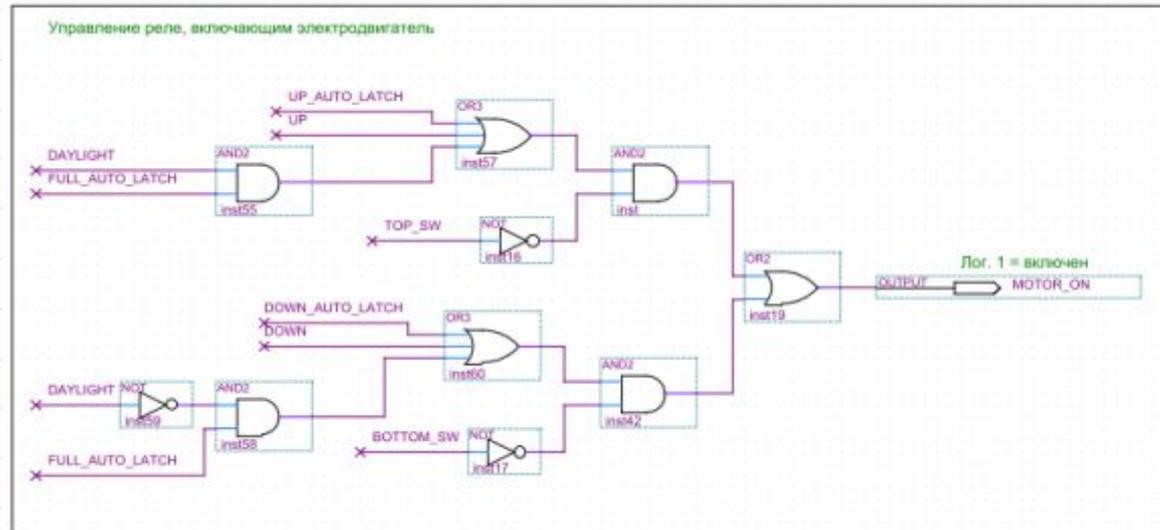
Автоматические жалюзи

- Триггер, выход которого заставляет жалюзи опуститься вниз до конца:



Автоматические жалюзи

- Управление реле



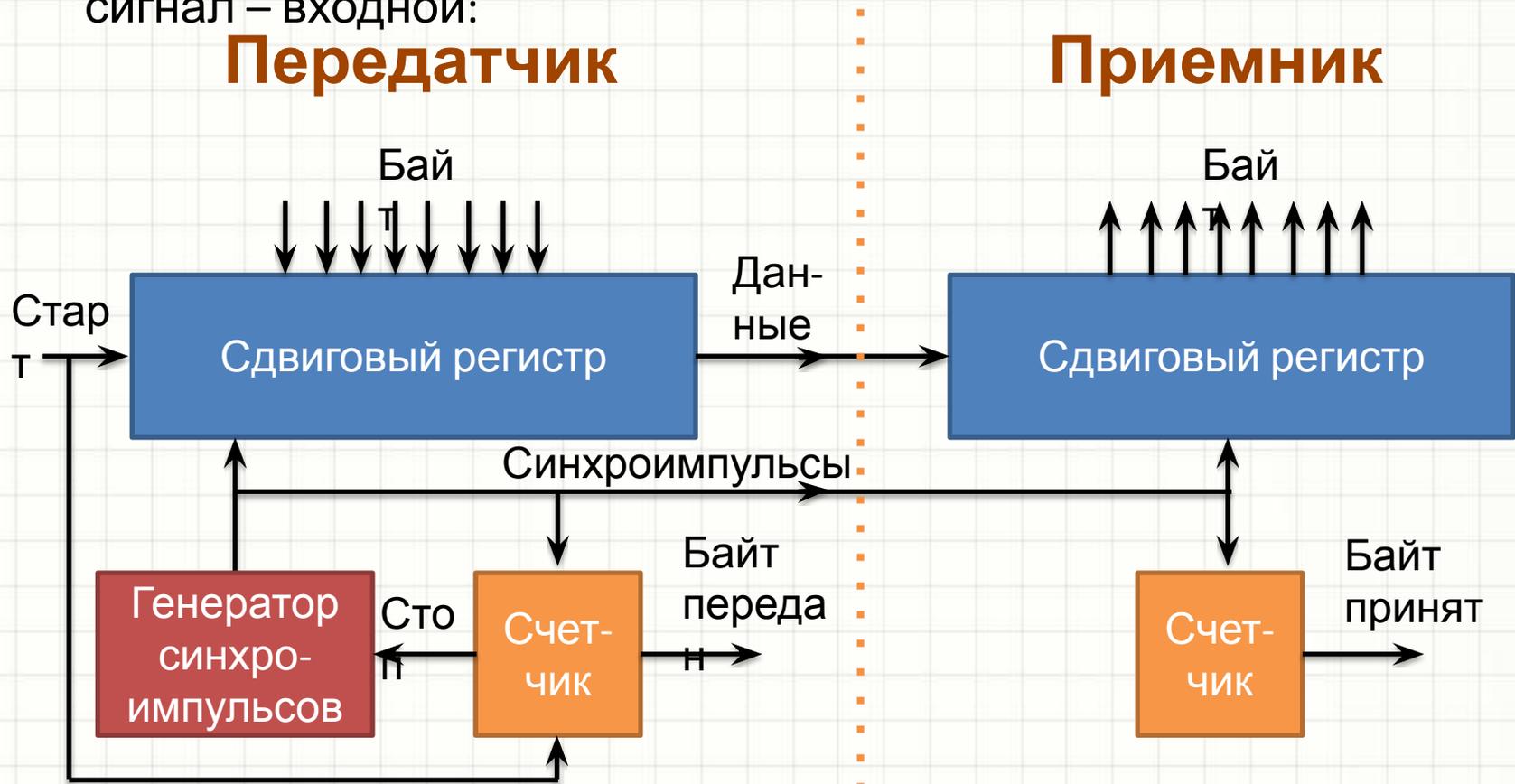
- Результаты моделирования – в приложении!

Последовательный способ передачи информации

- Выдано несколько заданий на курсовое проектирование, где встречается выражение «последовательный интерфейс»
- Смысл последовательной передачи данных в том, что байты и слова передаются всего по одной цепи (а не по 8-ми и более)
 - Передаваемые биты присутствуют в цепи данных один за другим во времени
 - Смена одного бита на другой производится синхронно с дополнительной тактовой цепью, например, по срезу сигнала
 - Чтение битов приемников производится тоже синхронно с тактовым сигналом, например, по его фронту

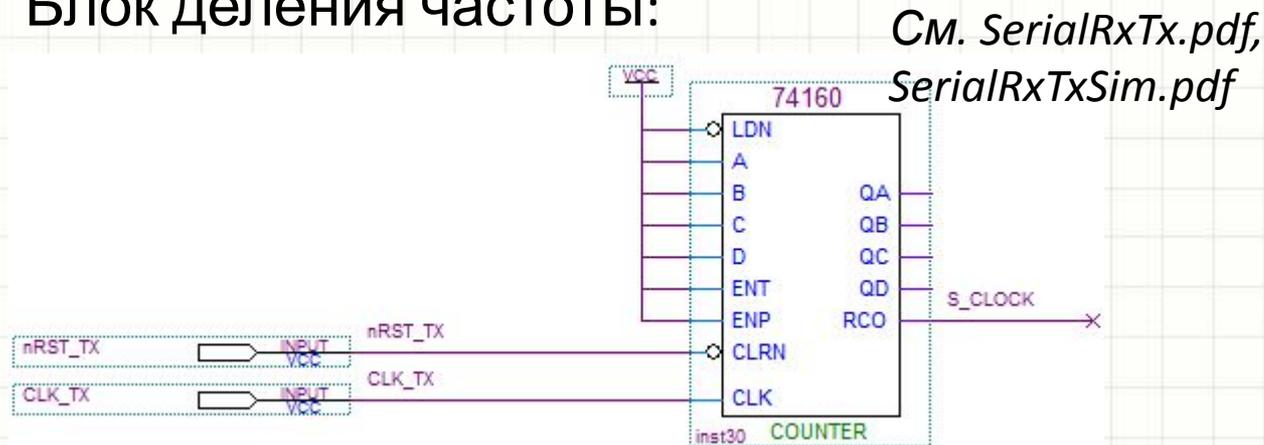
Последовательный способ передачи информации

- В заданиях на К/Р подразумевается, что тактовый сигнал интерфейса создает устройство, которое *передает* информацию
- Для устройств, которые принимают информацию, тактовый сигнал – входной:



Передатчик данных по последовательному интерфейсу

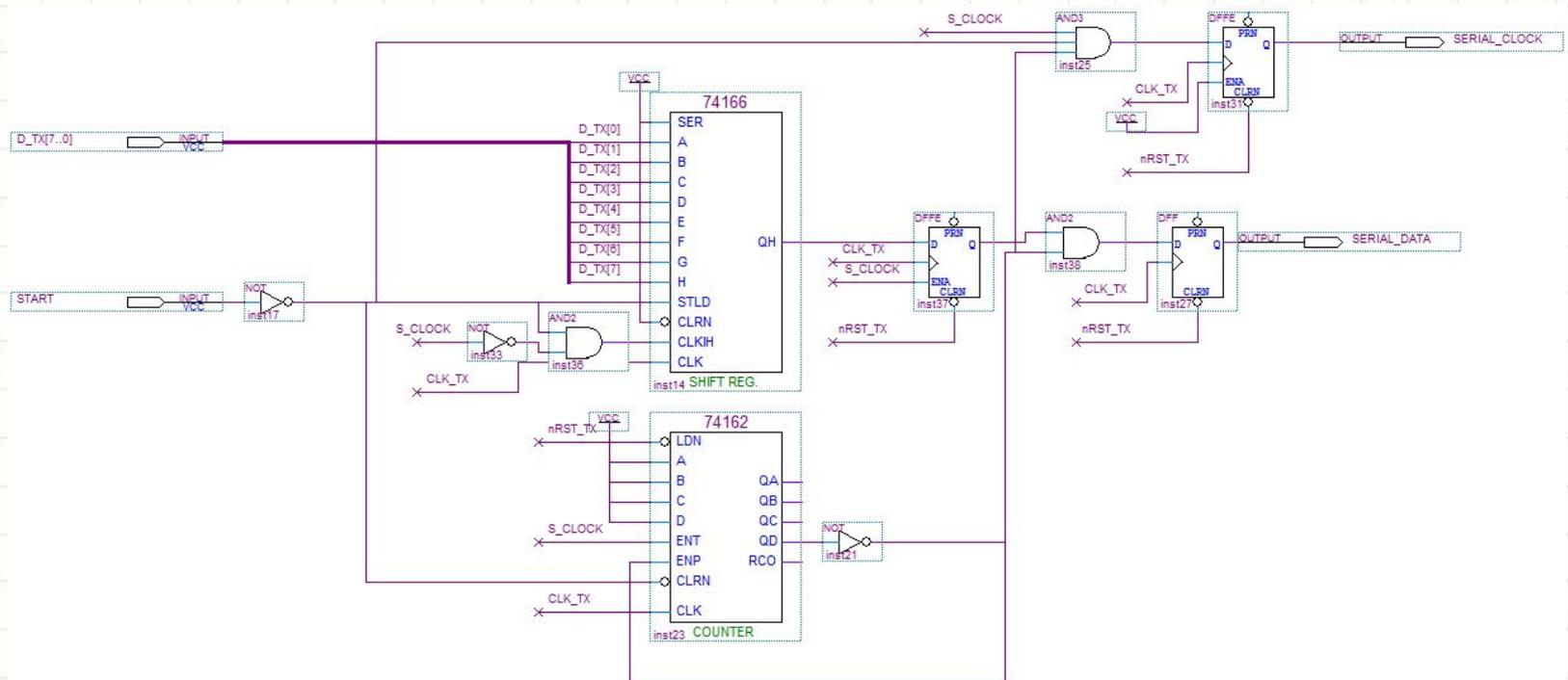
- Рассмотрим *простейший пример реализации передатчика*
- Блок деления частоты:



- CLK_TX – глобальные тактовые импульсы схемы, которая содержит в себе схему передатчика
- Частота следования этих импульсов существенно выше тактовой частоты последовательного интерфейса
- 2/10 счетчик 74160 делит эту частоту на 10: каждый 10й импульс CLK_TX на линии S_CLOCK присутствует лог. «1» длительностью в 1 период CLK_TX

Передатчик данных по последовательному интерфейсу

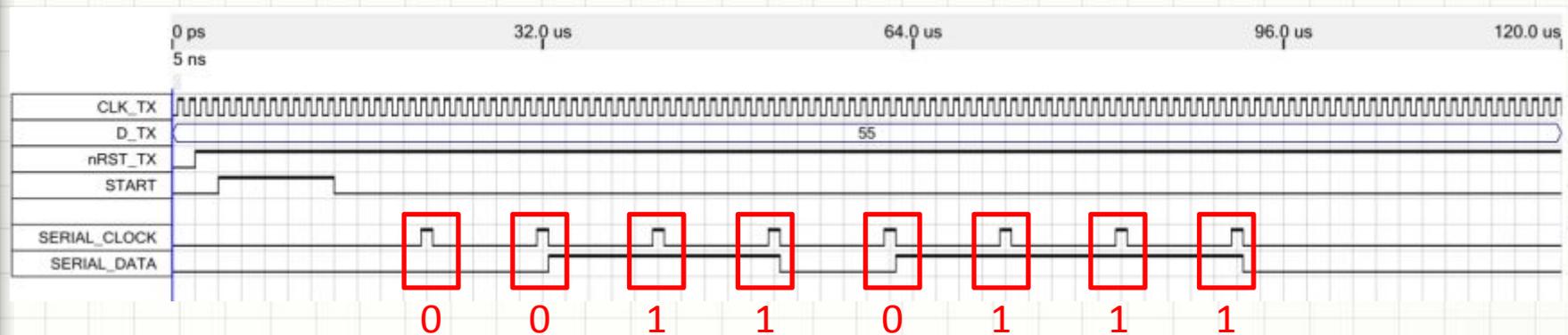
- Сдвиговый регистр 74166 загружает данные D_TX[7..0], когда START (команда начала передачи) переходит в лог. «1»



- START убирает активный уровень CLOCK INHIBIT (CLKIN) регистра для параллельной записи и сбрасывает счетчик битов 74162
- Когда START переходит в лог. «0», счетчик 1762 разрешает выдачу импульсов интерфейса SERIAL_CLOCK
- Регистр сдвигает всегда, когда $S_CLOCK = 1$ и $START = 0$

Передатчик данных по последовательному интерфейсу - моделирование

- Импульс START загружает в регистр число $55_{10} = 0011\ 0111_2$



- Загруженный байт передается по линии SERIAL_DATA, сначала старший бит, затем – младший
- Смена бита происходит синхронно со срезом тактового сигнала интерфейса SERIAL_CLOCK
- Запись бита приемником должна проходить, соответственно, по фронту SERIAL_CLOCK
- В К/Р лучше бы сделать скважность SERIAL_CLOCK 50%, сохранив правило на моменты чтения и изменения битов в линии SERIAL_DATA

Спасибо за внимание!

- Все схемы примеров и временные диаграммы можно скачать вместе со слайдами!
- Это была последнее занятие «в духе лекции» по К/Р, дальше – вопрос-ответ!
- **Приступаем к разработке схем, оформлению пояснительных записок и к защитам**