

Цифровая электроника

Базовые понятия

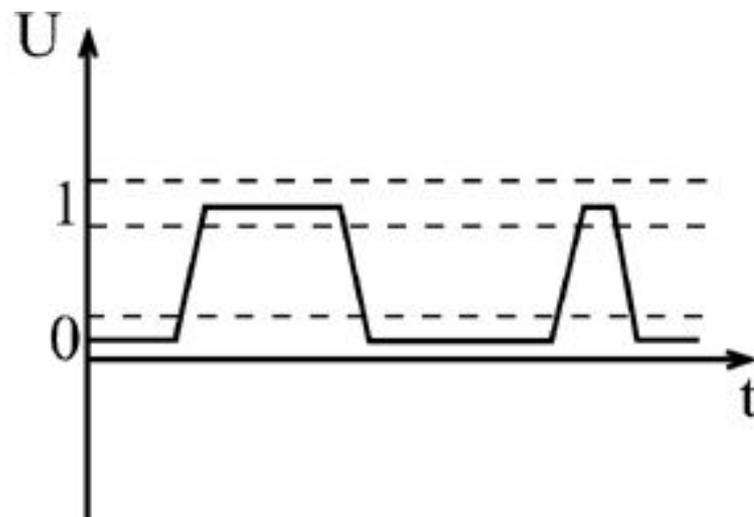
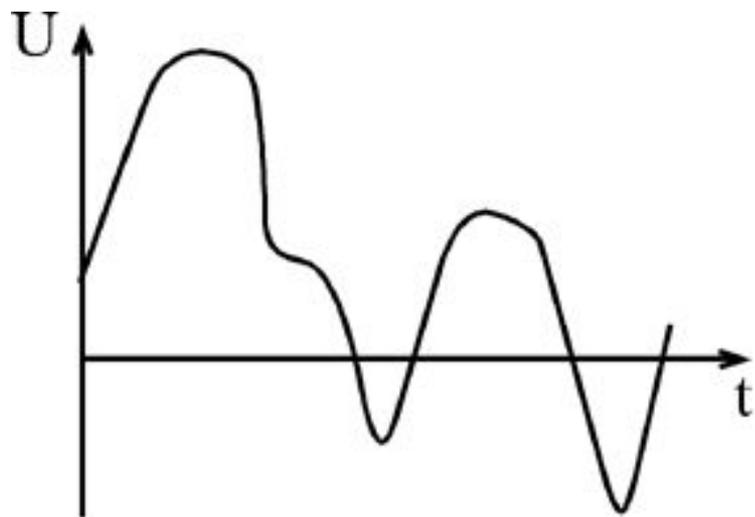
Аналог или цифра?

- **Сигнал** - это любая физическая величина (например, температура, давление воздуха, интенсивность света, сила тока и т.д.), изменяющаяся со временем. Именно благодаря этому изменению сигнал может нести в себе какую-то информацию.

- **Электрический сигнал** - это электрическая величина (например, напряжение, ток, мощность), изменяющаяся со временем. Вся электроника в основном работает с электрическими сигналами, хотя сейчас все больше используются световые сигналы, которые представляют собой изменяющуюся во времени интенсивность света.

- **Аналоговый сигнал** - это сигнал, который может принимать любые значения в определенных пределах (например, напряжение может плавно изменяться в пределах от нуля до десяти вольт).
Устройства, работающие только с аналоговыми сигналами, называются аналоговыми устройствами. Название "аналоговый" подразумевает, что сигнал изменяется аналогично физической величине, то есть непрерывно.

- **Цифровой сигнал** - это сигнал, который может принимать только два (иногда - три) значения, причем разрешены некоторые отклонения от этих значений. Например, напряжение может принимать два значения: от 0 до 0,5 В (уровень нуля) или от 2,5 до 5 В (уровень единицы). Устройства, работающие исключительно с цифровыми сигналами, называются **цифровыми устройствами**.



Электрические сигналы:
аналоговый (слева) и цифровой (справа)

- в природе практически все сигналы - аналоговые, то есть они изменяются непрерывно в каких-то пределах. Именно поэтому первые электронные устройства были аналоговыми. Они преобразовывали физические величины в пропорциональные им напряжение или ток, производили над ними какие-то операции и затем выполняли обратные преобразования в физические величины. Например, голос человека (колебания воздуха) с помощью микрофона преобразуется в электрические колебания, затем эти электрические сигналы усиливаются электронным усилителем и с помощью акустической системы снова преобразуются в колебания воздуха - в более сильный звук

недостатки

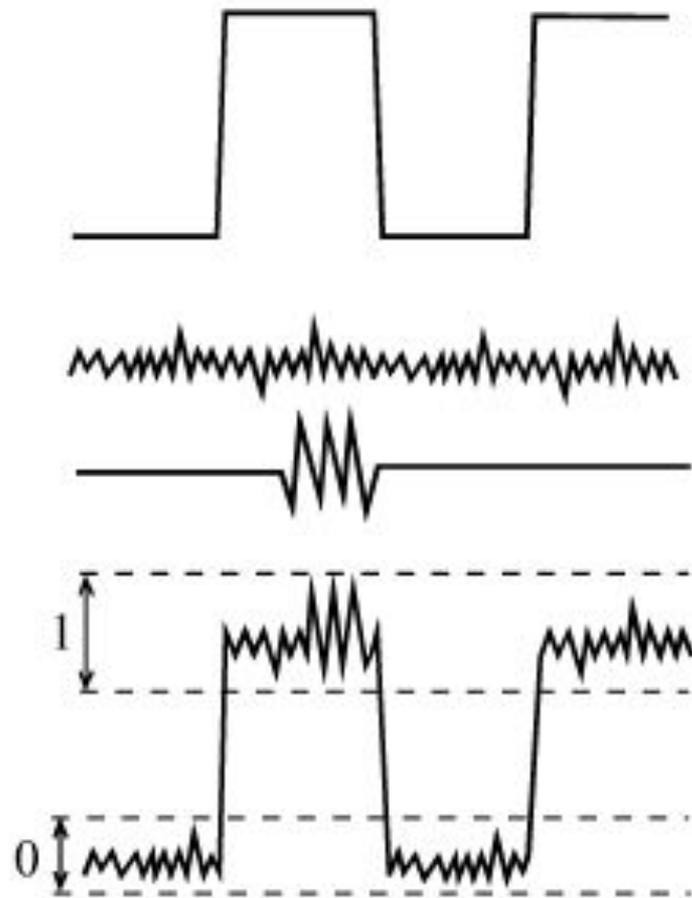
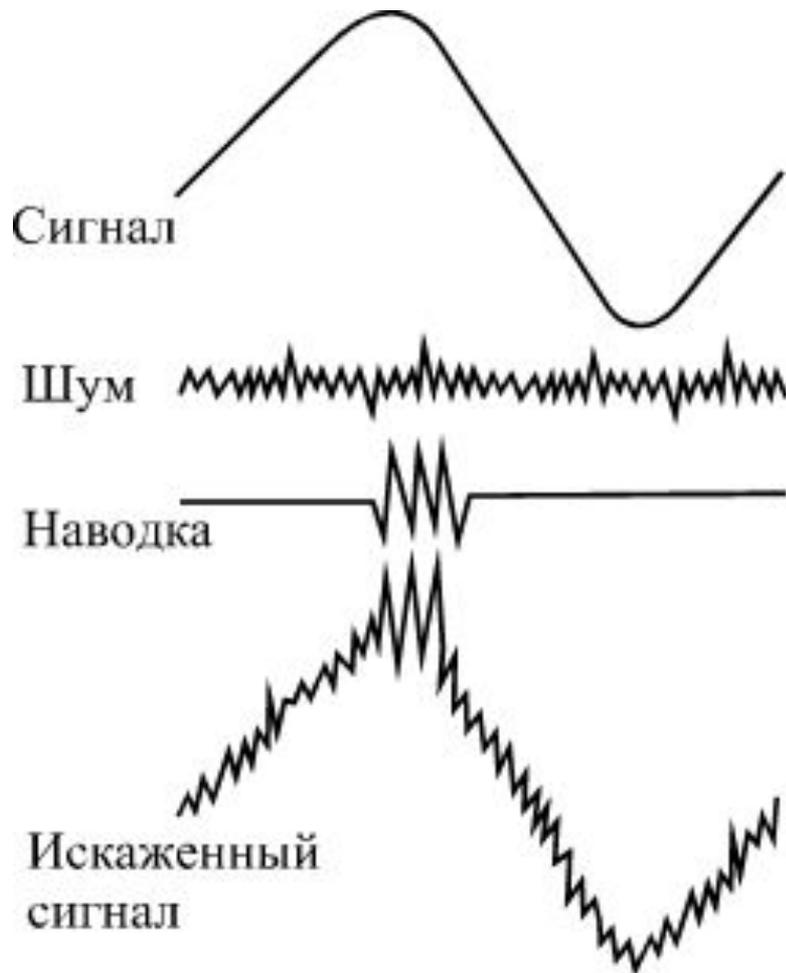
- аналоговые сигналы чувствительны к действию всевозможных паразитных сигналов - шумов, наводок, помех. Шум - это внутренние хаотические слабые сигналы любого электронного устройства (микрофона, транзистора, резистора и т.д.). Наводки и помехи - это сигналы, приходящие на электронную систему извне и искажающие полезный сигнал (например, электромагнитные излучения от радиопередатчиков или от трансформаторов)

Все операции, производимые электронными устройствами над сигналами

- обработка (или преобразование);
- передача;
- хранение.

- полезные сигналы искажаются паразитными - шумами, помехами, наводками. Кроме того, при обработке сигналов (например, при усилении, фильтрации) еще и искажается их форма - из-за несовершенства, неидеальности электронных устройств. А при передаче на большие расстояния и при хранении сигналы к тому же ослабляются.

- В случае аналоговых сигналов все это существенно ухудшает полезный сигнал, так как все его значения разрешены (рис. 1.2). Поэтому каждое преобразование, каждое промежуточное хранение, каждая передача по кабелю или эфиру ухудшает аналоговый сигнал, иногда вплоть до его полного уничтожения. Надо еще учесть, что все шумы, помехи и наводки принципиально не поддаются точному расчету, поэтому точно описать поведение любых аналоговых устройств абсолютно невозможно. К тому же со временем параметры всех аналоговых устройств изменяются из-за старения элементов, поэтому характеристики этих устройств не остаются постоянными.



Искажение шумами и наводками аналогового (слева) и цифрового (справа) сигналов

Преимущества цифровых сигналов

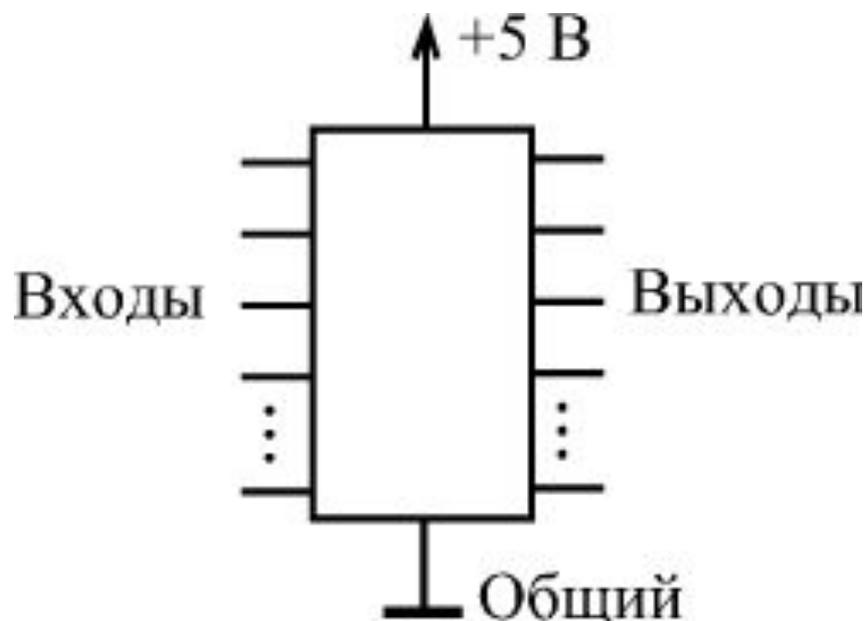
- В отличие от аналоговых, **цифровые сигналы**, имеющие всего два разрешенных значения, защищены от действия шумов, наводок и помех гораздо лучше. Небольшие отклонения от разрешенных значений никак не искажают цифровой сигнал, так как всегда существуют зоны допустимых отклонений. Цифровые сигналы допускают гораздо более сложную и многоступенчатую обработку, гораздо более длительное хранение без потерь и гораздо более качественную передачу, чем аналоговые. К тому же поведение цифровых устройств всегда можно абсолютно точно рассчитать и предсказать. Цифровые устройства гораздо меньше подвержены старению, так как небольшое изменение их параметров никак не отражается на их функционировании. Кроме того, цифровые устройства проще проектировать и отлаживать.

Недостатки цифровых сигналов

- На каждом из своих разрешенных уровней цифровой сигнал должен оставаться хотя бы в течение какого-то минимального временного интервала, иначе его невозможно будет распознать. А аналоговый сигнал может принимать любое свое значение бесконечно малое время.
- Цифровой сигнал передает информацию только двумя уровнями и изменением одного своего уровня на другой, а аналоговый - еще и каждым текущим значением своего уровня, то есть он более емкий с точки зрения передачи информации.
- Для преобразования их в цифровые и обратного преобразования требуется применение специальной аппаратуры (аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей).

Уровни представления цифровых устройств

Выводы логических микросхем



- выводы питания: общий (или "земля") и напряжения питания (в большинстве случаев — +5 В или +3,3 В), которые на схемах обычно не показываются;
- выводы для входных сигналов (или ""входы"), на которые поступают внешние цифровые сигналы;
- выводы для выходных сигналов (или ""выходы"), на которые выдаются цифровые сигналы из самой микросхемы.

"положительная логика"

Два разрешенных уровня напряжения

- уровень логической единицы (или единичный уровень),
- уровень логического нуля (или нулевой уровень).

Уровни представления о работе цифровых устройств

- Логическая модель.
- Модель с временными задержками.
- Модель с учетом электрических эффектов (или электрическая модель).

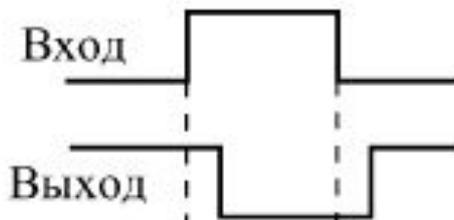
простейший логический элемент

инвертор

- изменяет (инвертирует) логический уровень входного сигнала на противоположный уровень выходного сигнала



1



2



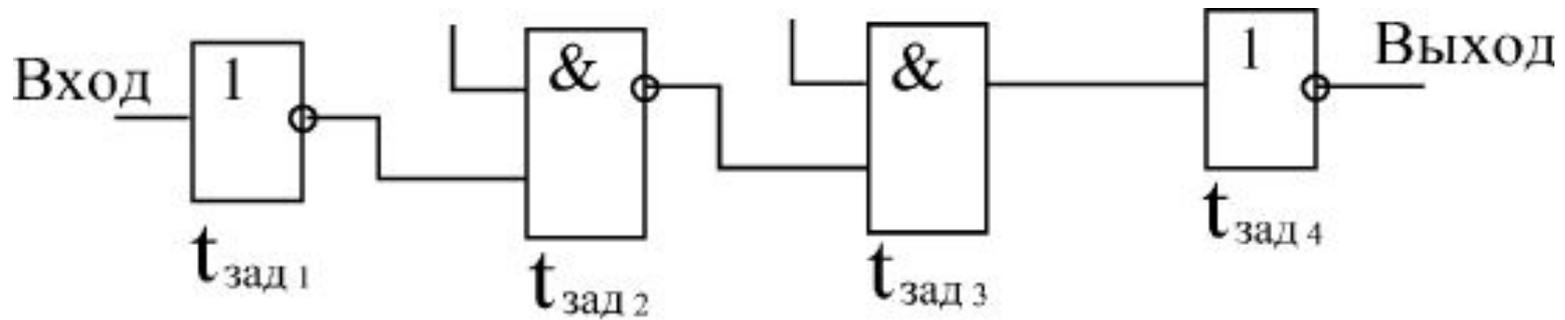
3

Таблица истинности
инвертора

Вход	Выход
0	1
1	0

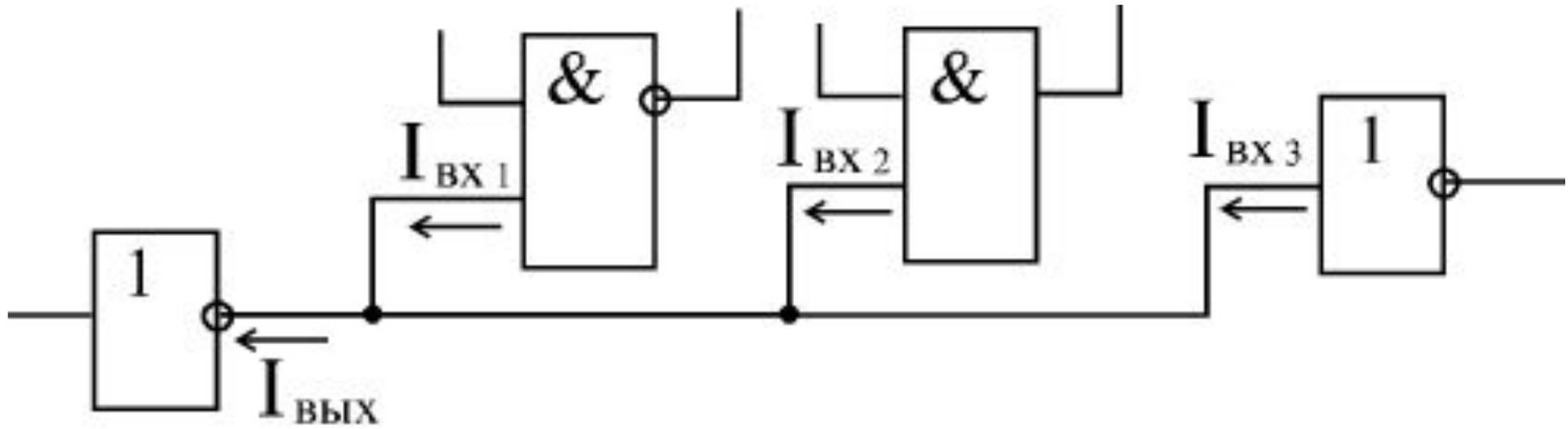
- На практике разработчик, как правило, в начале проектирования пользуется исключительно первой моделью, а затем для некоторых узлов применяет вторую или (реже) еще и третью модель. При этом первая модель не требует вообще никаких цифровых расчетов, для нее достаточно только знание таблиц истинности или алгоритмов функционирования микросхем. Вторая модель предполагает расчет (по сути, суммирование) временных задержек элементов на пути прохождения сигналов. В результате этого расчета может выясниться, что требуется внесение изменений в схему.

- **Вторая модель**



$$t_{\text{зад}} = t_{\text{зад } 1} + t_{\text{зад } 2} + t_{\text{зад } 3} + t_{\text{зад } 4}$$

Суммирование задержек элементов



$$I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВХ 1}} + I_{\text{ВХ 2}} + I_{\text{ВХ 3}}$$

Суммирование входных токов элементов

- проектирование цифровых устройств принципиально отличается от проектирования аналоговых устройств, при котором сложные расчеты абсолютно неизбежны. Разработчик цифровых устройств имеет дело только с логикой, с логическими сигналами и с алгоритмами работы цифровых микросхем. А что происходит внутри этих микросхем, для него практически не имеет значения.
- Справочные данные на цифровые микросхемы обычно содержат большой набор параметров, каждый из которых можно отнести к одному из трех перечисленных уровней представления, к одной из трех моделей.
- Например, таблица истинности микросхемы (для простых микросхем) или описание алгоритма ее работы (для более сложных микросхем) относится к первому, логическому уровню. Поэтому знать их наизусть каждому разработчику необходимо в любом случае.

- Типичные величины задержек составляют от единиц наносекунд ($1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$) до десятков наносекунд.
- Величины задержек для разных микросхем могут быть различными, поэтому в справочниках всегда указывается максимальное значение.
- Задержка при переходе выходного сигнала из единицы в нуль (t_{PHL}), как правило, отличается от задержки при переходе выходного сигнала из нуля в единицу (t_{PLH}).

- Уровни входных и выходных токов, а также уровни входных и выходных напряжений относятся к третьему уровню представления.

- Входной ток микросхемы при приходе на вход логического нуля (I_{IL}), как правило, отличается от входного тока при приходе на вход логической единицы (I_{IH}).
- Например, $I_{IL} = -0,1$ мА, а $I_{IH} = 20$ мкА (считается, что положительный ток втекает во вход микросхемы, а отрицательный — вытекает из него). Точно так же выходной ток микросхемы при выдаче логического нуля (I_{OL}) может отличаться (и обычно отличается) от выходного тока при выдаче логической единицы (I_{OH}). Например, для одной и той же микросхемы $I_{OH} < -0,4$ мА, а $I_{OL} < 8$ мА (считается, что положительный ток втекает в выход микросхемы, а отрицательный — вытекает из него).
- Надо также учитывать, что разные входы и выходы одной и той же микросхемы могут иметь различные входные и выходные токи.

- **Третья модель**

параметры

часто упоминаются в литературе, но не всегда приводятся в справочных таблицах

Порог срабатывания — уровень входного напряжения, выше которого сигнал воспринимается как единица, а ниже — как нуль. Для наиболее распространенных ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика) микросхем он примерно равен 1,3...1,4 В.

параметры

- Помехозащищенность — характеризует величину входного сигнала помехи, накладывающегося на входной сигнал, который еще не может изменить состояние выходных сигналов. Помехозащищенность определяется разницей между напряжением U_{IH} и порогом срабатывания (это помехозащищенность единичного уровня), а также разницей между порогом срабатывания и U_{IL} (это помехозащищенность нулевого уровня).

параметры

Коэффициент разветвления — число входов, которое может быть подключено к данному выходу без нарушения работы. Определяется отношением выходного тока к входному.

Стандартная величина коэффициента разветвления при использовании микросхем одного типа (одной серии) равна 10.

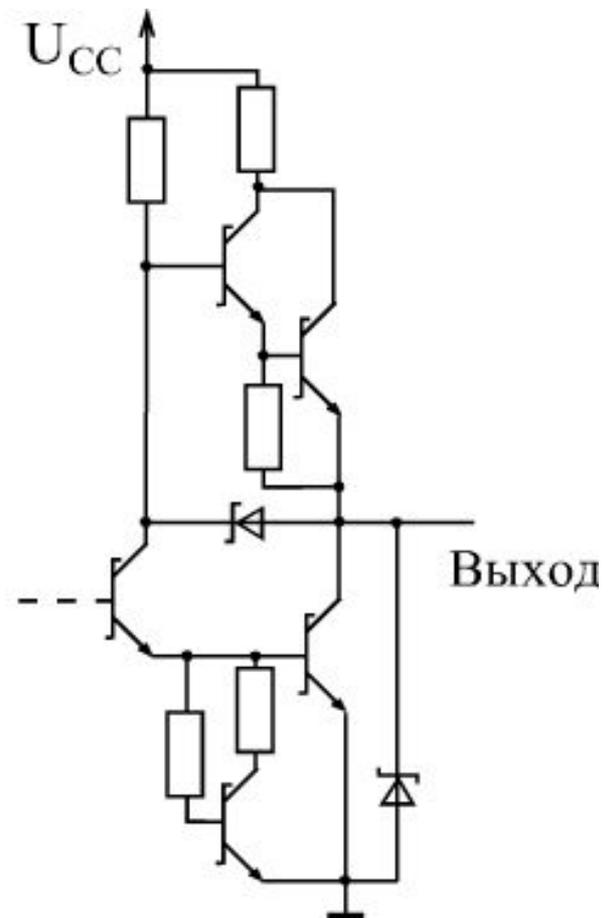
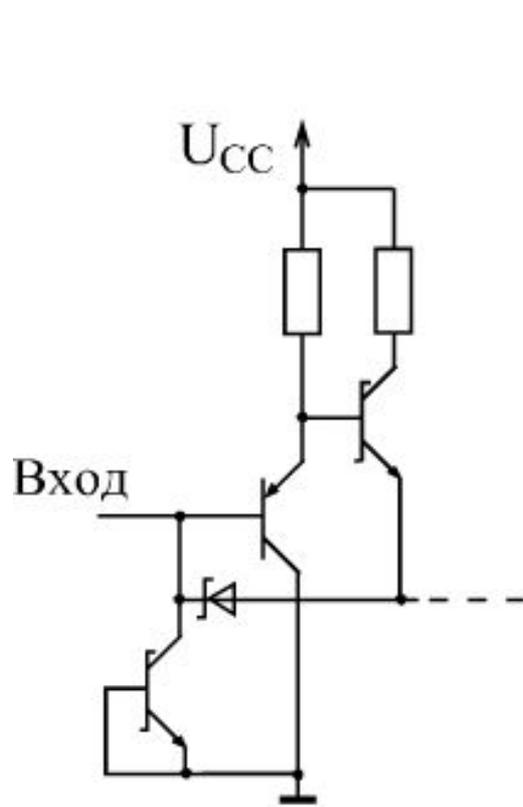
Нагрузочная способность — параметр выхода, характеризующий величину выходного тока, которую может выдать в нагрузку данный выход без нарушения работы. Чаще всего нагрузочная способность прямо связана с коэффициентом разветвления.

- **Входы и выходы цифровых микросхем**

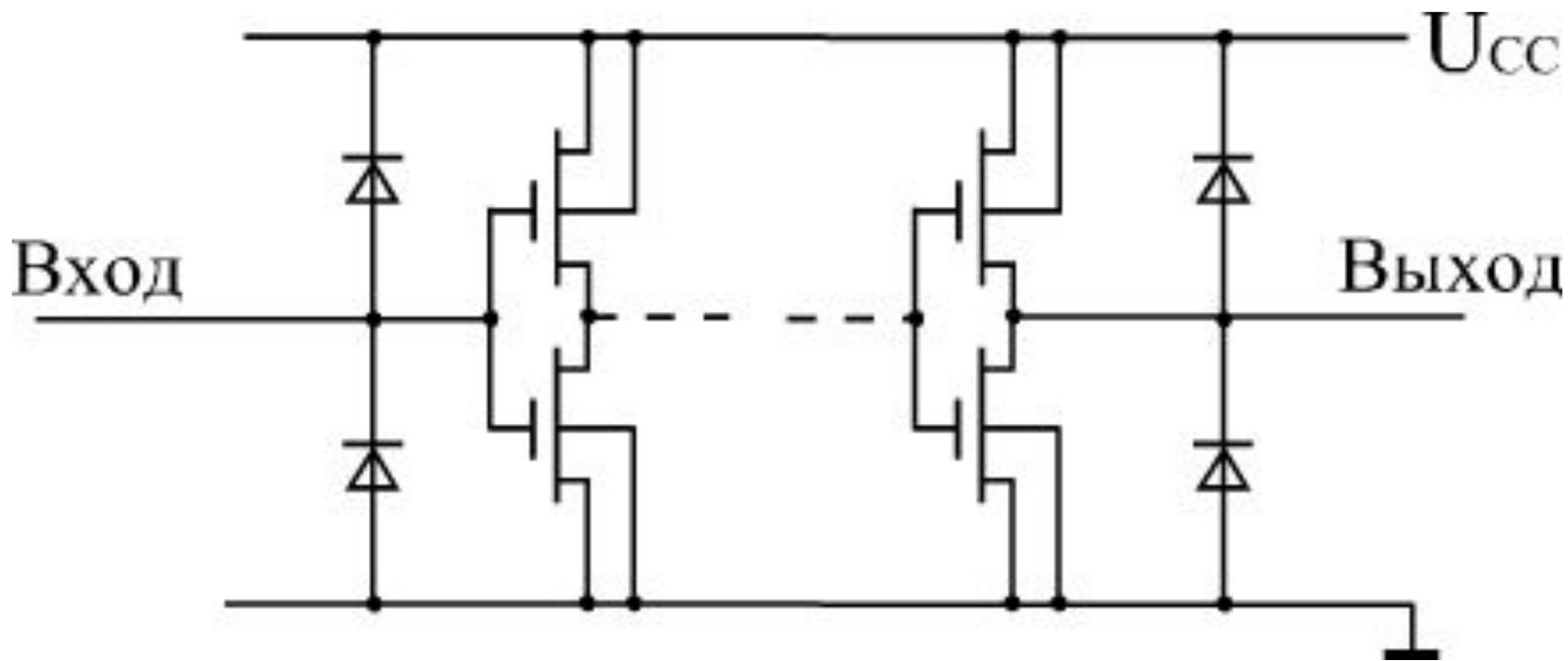
- Характеристики и параметры входов и выходов цифровых микросхем определяются прежде всего технологией и схемотехникой их внутреннего строения. Но для разработчика цифровых устройств любая микросхема представляет собой всего лишь "черный ящик", внутренности которого знать не обязательно. Ему важно только четко представлять себе, как поведет себя та или иная микросхема в данном конкретном включении, будет ли она правильно выполнять требуемую от нее функцию.

две основные технологии цифровых микросхем

- ТТЛ (TTL) и ТТЛШ (TTLs) — биполярная транзисторно-транзисторная логика и ТТЛ с диодами Шоттки;
- КМОП (CMOS) — комплементарные транзисторы со структурой "металл–окисел–полупроводник".



Входной и выходной каскады микросхем ТТЛШ



Входной и выходной каскады микросхем КМОП

