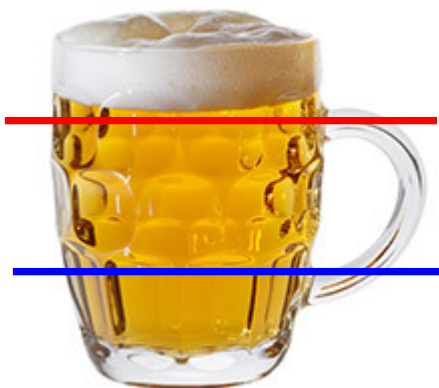


Логические уровни

Итак, в прошлый раз мы уже кратко отметили, что при работе с цифровыми устройствами, используются только два уровня напряжения – единица и ноль. Давайте теперь кратко посмотрим, как эти уровни получаются. Оставим пока сантехнические аналогии, перейдём к более приятной. Рассмотрим кружку с пивом.

Когда кружка полная? Когда пива до краёв? А если на 1 миллиметр ниже? А если на сантиметр ниже, это ещё полная или уже нет? А когда пора её долить? Когда она абсолютно сухая и протёрта салфеточкой? А если на доньшке чуть-чуть напиток осталось? А если ещё сантиметр? Чтобы откинуть все эти неопределённости, давайте сделаем на кружке отметки ближе к верху и ближе к низу.



Если продавщица налила выше красной отметки, то всё, кружка полная. То есть, любой уровень пива от отметки и до краёв считаем логической единицей. А если мы отпили ниже синего уровня, то считаем, что кружка пуста, то есть, это логический ноль, пора бежать за добавкой. Ниже красного уровня наливать запрещено правилами заведения. Выше синего – выпить не позволит наше достоинство. Вот в микросхемах серии ТТЛ (если кому интересно, ТТЛ – Транзисторно-Транзисторная Логика) всё то же самое. Есть две границы. Напряжение выше верхней – единица, ниже нижней – ноль.

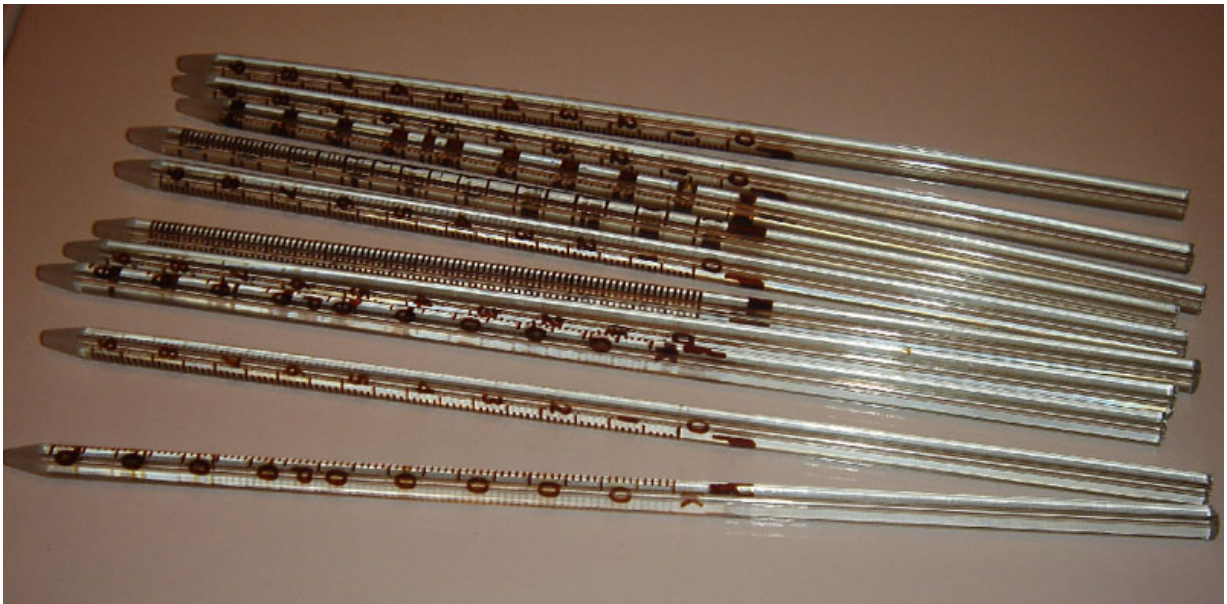
А давайте поделим кружку строго посередине. И скажем, что всё, что выше середины – единица, что ниже – ноль. Теперь вы познакомились с микросхемами серии КМОП. Все дальнейшие рассуждения я буду вести для них чисто потому, что графики получаются проще, граница ведь одна.



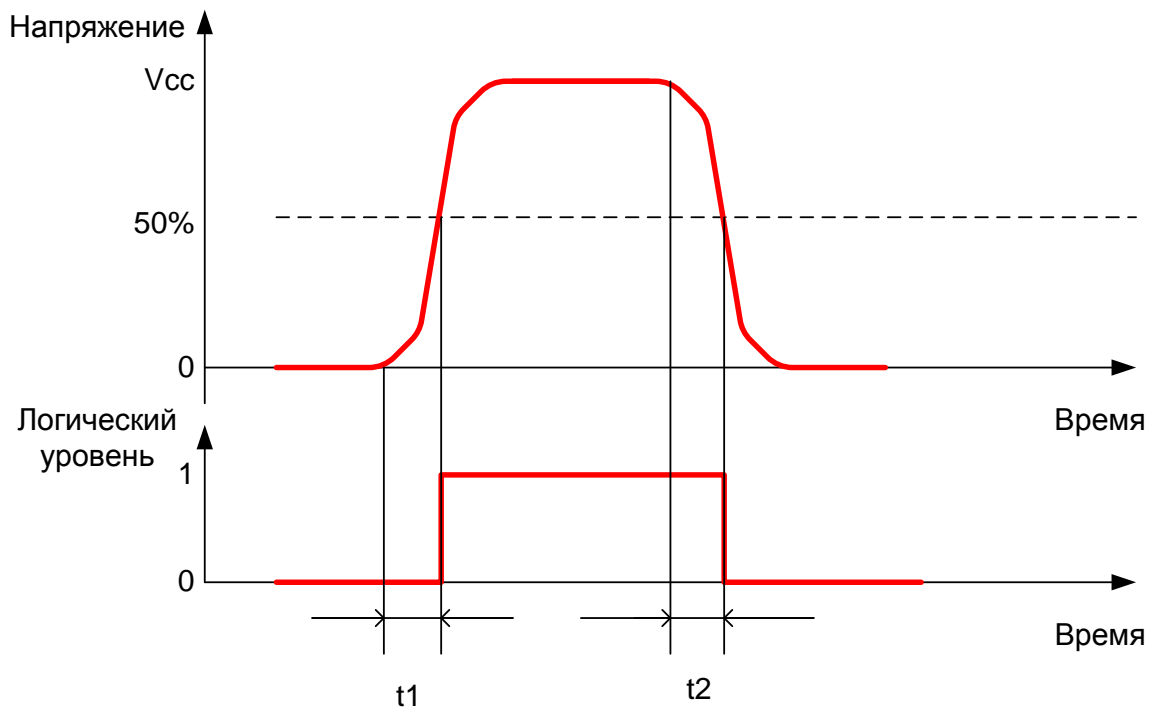
Существуют другие типы цифровых микросхем, но доминирующее положение занимают именно эти два типа, поэтому другие рассматривать не будем.

Фронты сигналов

Теперь посмотрим, как ноль превращается в единицу, а единица – в ноль. С кружками всё понятно, они наполняются долго, а мы уже знаем, что так ведёт себя конденсатор. Что же с проводами? Вспоминаем поликлинику и процесс сдачи крови. Там кровь берут в такую ууууузеньку трубочку.



И когда заранее собранную кровь засасывается в неё при помощи резиновой груши, кажется, что она заполняется мгновенно. Но если мы запишем процесс скоростной камерой, а затем прокрутим в замедленном повторе, выяснится, что всё-таки уровень повышается постепенно. Вот в цифровой технике всё то же самое. Как бы ни был быстр сигнал, всё равно можно найти такой малый промежуток времени, на котором будет видно, что он нарастает не резко, а постепенно. Посмотрим на реальный сигнал, а также соответствующий ему логический уровень, записанный по правилам КМОП.



Как видно, из графиков, у нас образовались две задержки. t_1 – это время от начала формирования логической единицы до того момента, когда эта единица реально появилась. И t_2 – время от начала формирования логического нуля до того, как появился этот ноль.

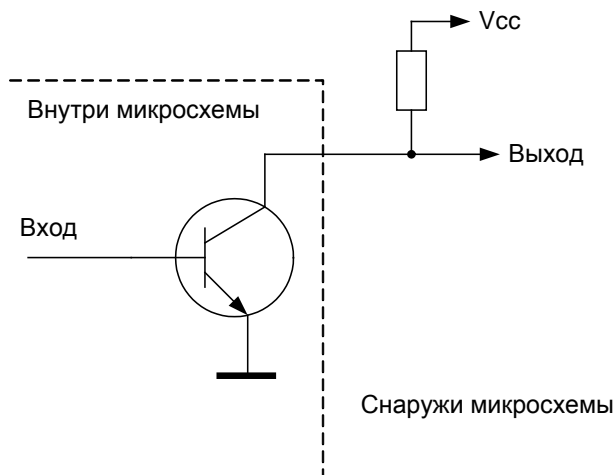
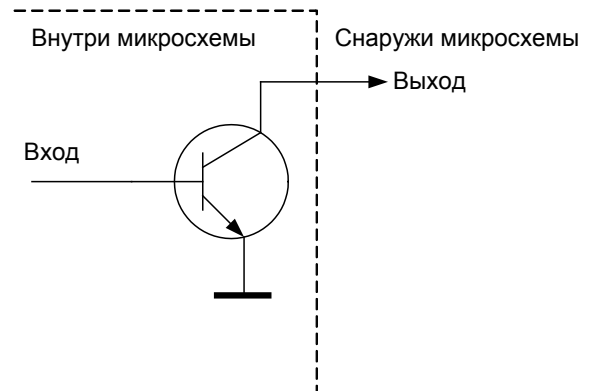
Из всего этого следует чрезвычайно важное правило:

ЛЮБОЙ ТРАНЗИСТОР (ВЕНТИЛЬ) НА ПУТИ ЦИФРОВОГО СИГНАЛА ОБЯЗАТЕЛЬНО СОЗДАЁТ ЗАДЕРЖКУ В ЕГО РАСПРОСТРАНЕНИИ. В ЛОГИЧЕСКОМ ЭЛЕМЕНТЕ ТРАНЗИСТОРОВ МОЖЕТ БЫТЬ МНОГО. ПОЭТОМУ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЦИФРОВЫХ СХЕМ КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕМЕНТОВ, ЧЕРЕЗ КОТОРЫЕ ПРОХОДИТ СИГНАЛ, ДОЛЖНО БЫТЬ МИНИМАЛЬНЫМ.

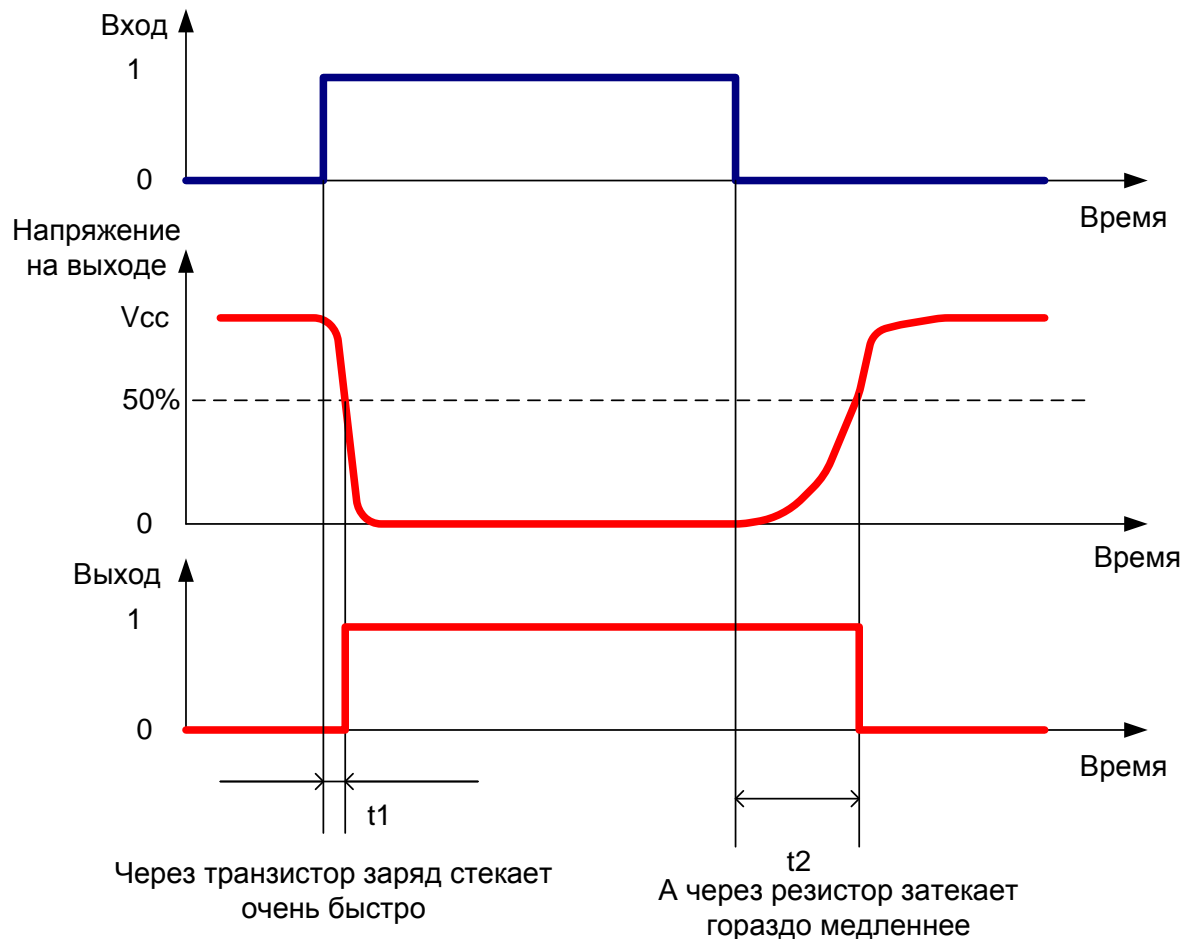
Схемы включения транзисторов

Ну, и напоследок, рассмотрим две самые распространённые схемы включения транзисторов в цифровых схемах. Начнём с простейшей, которую называют Открытый Коллектор. Если вы встретите в документации термины «Открытый Коллектор», «Open Collector», «Открытый сток», «Open Drain», «OC», «OD», то это как раз оно.

Предположим, что на входе логическая единица. Тогда транзистор открыт, выход через него замкнут на общий провод (через вентиль соединён с канализацией). Если на входе логический ноль, то транзистор закрыт. И что при этом на выходе – не ясно. Обычно говорят, «Висячка». Как устранить «висячку»? Вспоминаем смывной бачок из прошлой статьи... Добавим к входу снаружи подтягивающий резистор.



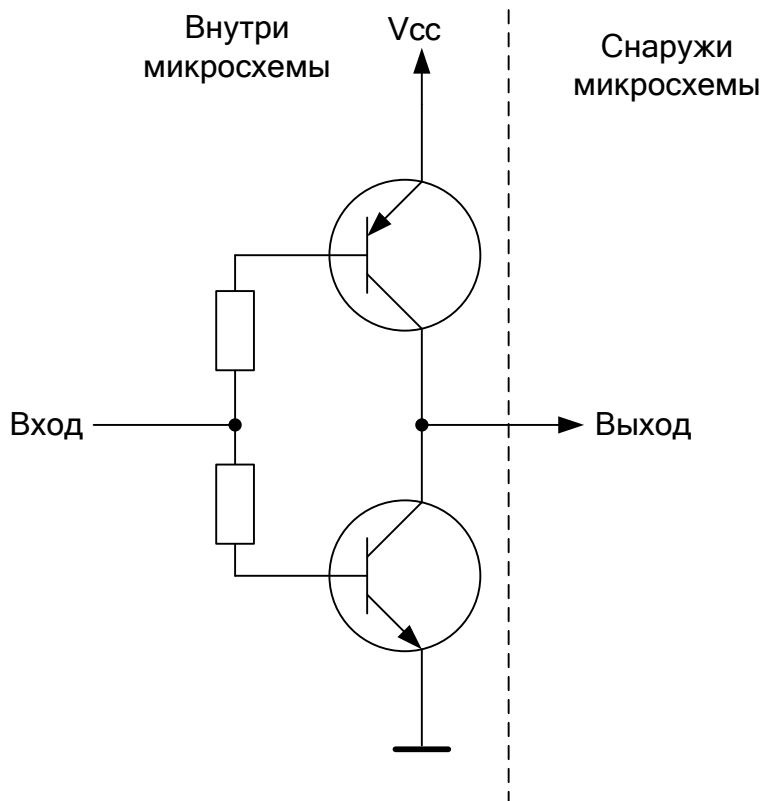
Вернёмся к сантехническим аналогиям. Транзистор – широкий кран, резистор – тоненькая трубочка (ограничитель напора воды). Так что когда транзистор открыт, вся вода устремляется в канализацию. Когда он закрыт – через узкую трубочку вода набирается. Так как бака нет, она набирается почти мгновенно, но всё-таки с небольшой задержкой. Запишем эти рассуждения в графическом виде:



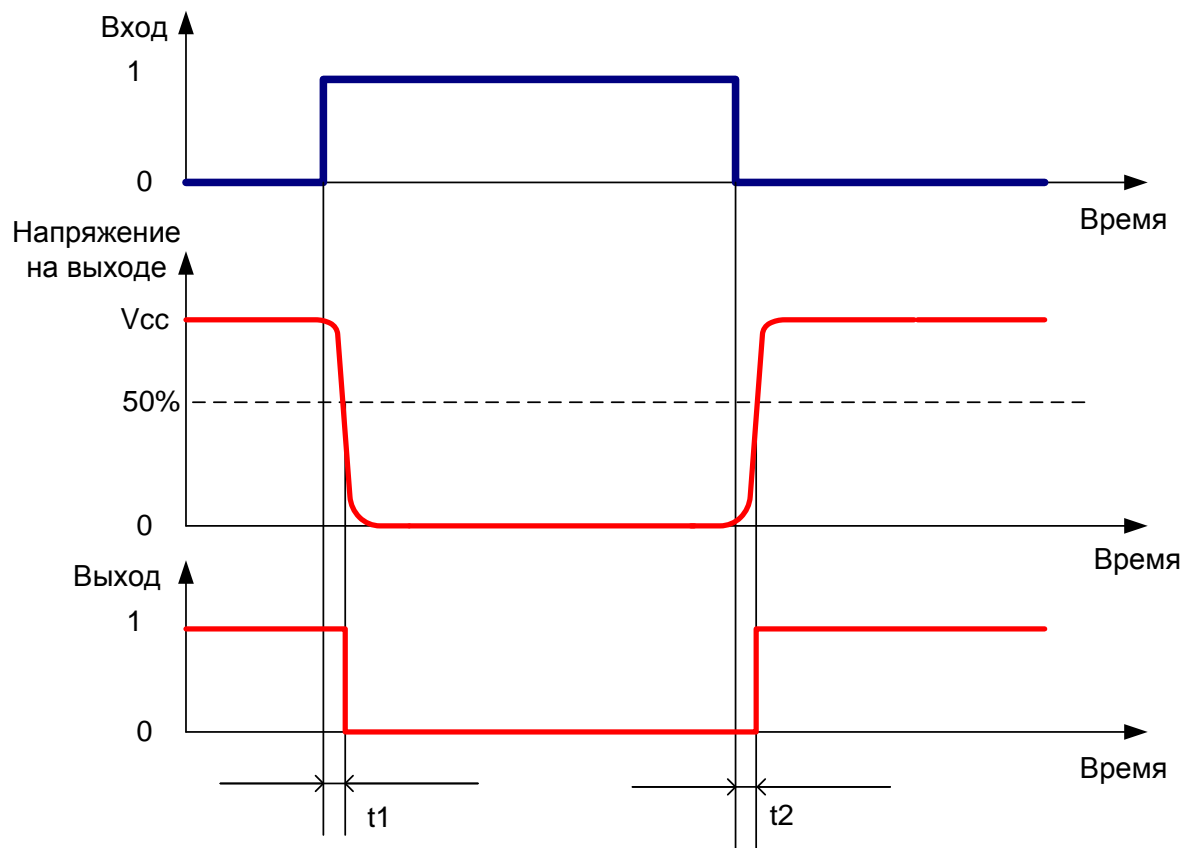
Ну, во-первых, из графика видно, что мы только что выяснили, как устроен простейший элемент «НЕ», ведь значение на выходе всегда инверсно по отношению к значению входа.

А во-вторых, мы выявили главный недостаток такого типа включения транзистора. Время t_2 во-первых, не равно времени t_1 (а значит, в сигнал вносятся искажения), а во-вторых, величина этого t_2 безобразно огромна. **То есть, такое включение можно использовать только при низком быстродействии устройства.** Тем не менее, нам не всегда нужны десятки и сотни мегагерц, так что этот недостаток критичен не всегда. Когда речь идёт о единицах мегагерц или килогерцах, этого хватает. Так что такое включение поджидает нас даже в одной цепи микросхем NAND Flash нашей любимой фирмы Samsung. Про остальные места, где встречается открытый коллектор, поговорим в других статьях, а главное достоинство этого способа включения, мы рассмотрим чуть ниже.

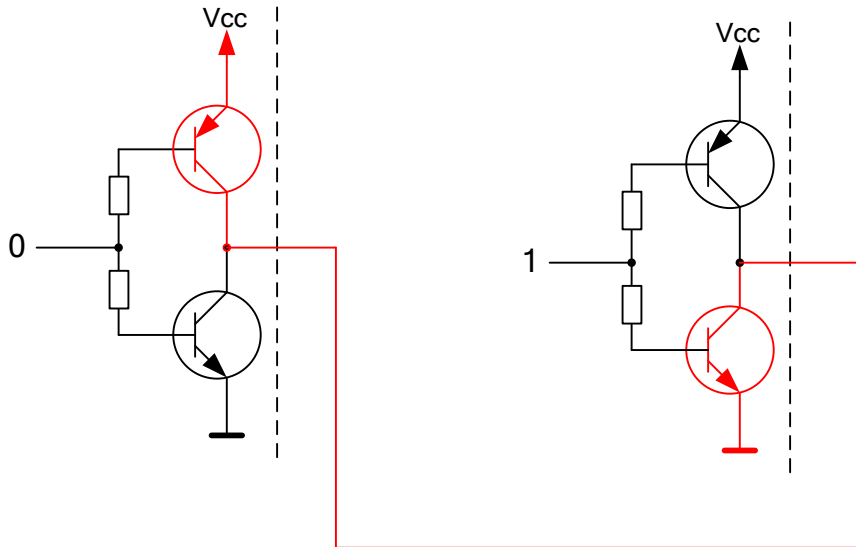
Теперь рассмотрим другой способ включения транзистора – двухтактный выход. Для этого вспомним одно замечательное свойство, описанное в прошлой статье: Прямой транзистор открывается, когда у него на входе ноль, а обратный – когда у него на входе единица. Замечательно. Включаем их следующим образом:



Подали ноль – открылся верхний транзистор, выход резко подключился к ~~проводу~~ шине питания. На нём единица. Подали единицу – верхний транзистор закрылся, открылся нижний. Теперь выход подключен к ~~канализации~~ общему проводу. То есть, t_1 и t_2 малы. Ура! Быстродействие огромное...

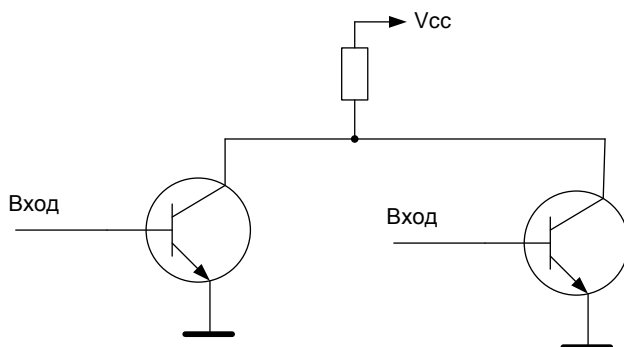


Возникает вопрос: А зачем тогда нужен открытый коллектор, если есть такое замечательное включение, как двухтактный выход? Всё очень просто. Давайте подключим два двухтактных выхода к одному и тому же проводу. И пусть на одном из выходов открыт верхний транзистор, а на другом – нижний. В конце концов, кто сказал, что в какой-то момент времени такое не случится?



А что мы говорили в прошлый раз? Если кран соединяет водопровод и канализацию без каких-либо ограничителей напора, то этот кран сорвёт. В общем, транзисторы перегреются и сгорят. Оба. А если в микросхеме сгорел транзистор – её придётся менять. Всю. Вот так вот.

Если же мы подключим к одному проводу несколько выходов с открытым коллектором, то ничего такого страшного не произойдёт.



Если открыт хотя бы один из транзисторов – на выходе будет ноль. Если все закрыты – единица.

Таким образом, вот обещанное достоинство выхода с открытым коллектором: **Выходы с открытым коллектором можно соединять друг с другом в любых количествах. И это активно используется при построении некоторых видов не очень скоростных шин, о которых поговорим как-нибудь в будущем.**

А как соединять двухтактные выходы? Для этого придуманы логические функции, о которых поговорим в следующей статье.