

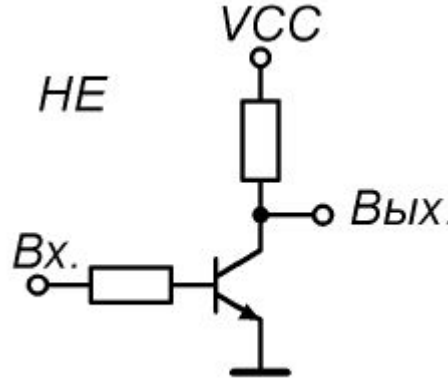
Цифровая схемотехника

ЛР1. Базовые элементы
цифровых интегральных схем

Цель работы

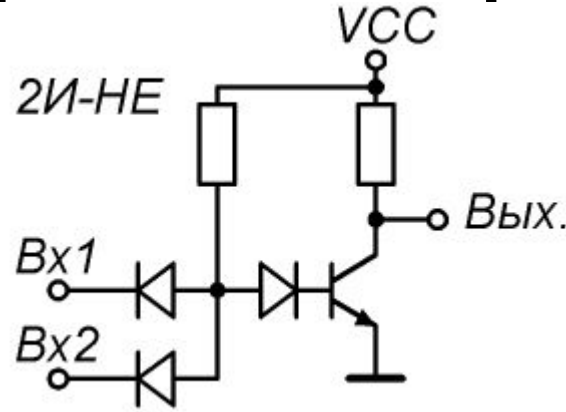
- Изучить схемотехнику базовых элементов наиболее распространенных серий цифровых ИС
- Научиться проверять исправность и определять цоколевку полупроводниковых диодов
- Изготовить макет из дискретных элементов и проверить в работе:
 - Логический элемент “НЕ” на базе ключевого каскада с общим эмиттером
 - Логический элемент “2И-НЕ” на базе диодно-транзисторной логики
 - Логический элемент “НЕ” на базе К-МОП логики
 - Логический элемент “2ИЛИ-НЕ” на базе К-МОП логики
 - Логический элемент “2И-НЕ” на базе К-МОП логики

Диодно-транзисторная логика



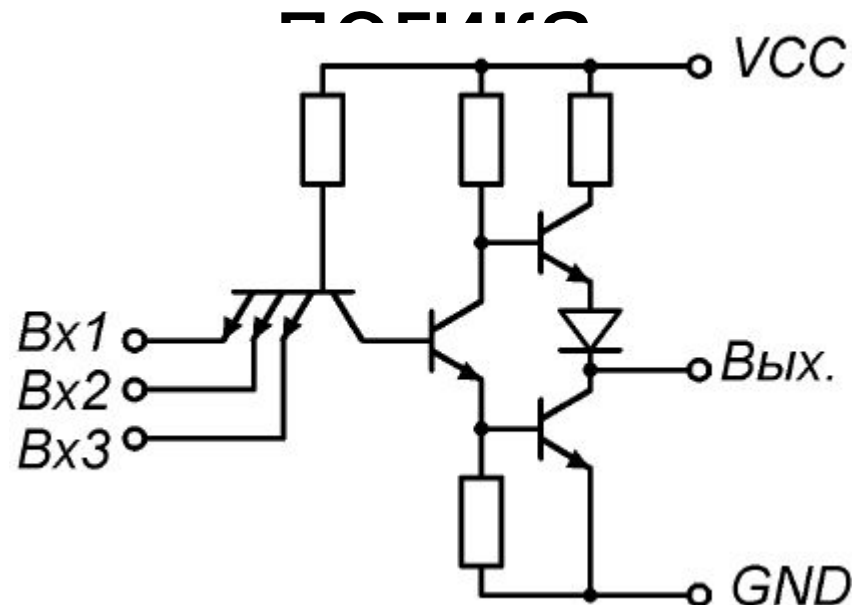
Транзисторный каскад, работающий в ключевом режиме, можно рассматривать, как элемент с двумя состояниями, или *логический элемент*, с помощью которых в цифровой технике производятся логические операции двоичной (Булевой) алгебры. Выход логического элемента может принимать только два состояния – низкого уровня, соответствующего напряжению насыщения (логического нуля) и высокого уровня близкого к напряжению питания, соответствующего режиму отсечки (логической единицы). Так, ключевой каскад с общим эмиттером (Рис) выполняет операцию «НЕ», если источником входного сигнала служит двоичное напряжение с уровнем логического нуля 0-0.7 В и уровнем логической единицы, близким к VCC.

Диодно-транзисторная логика



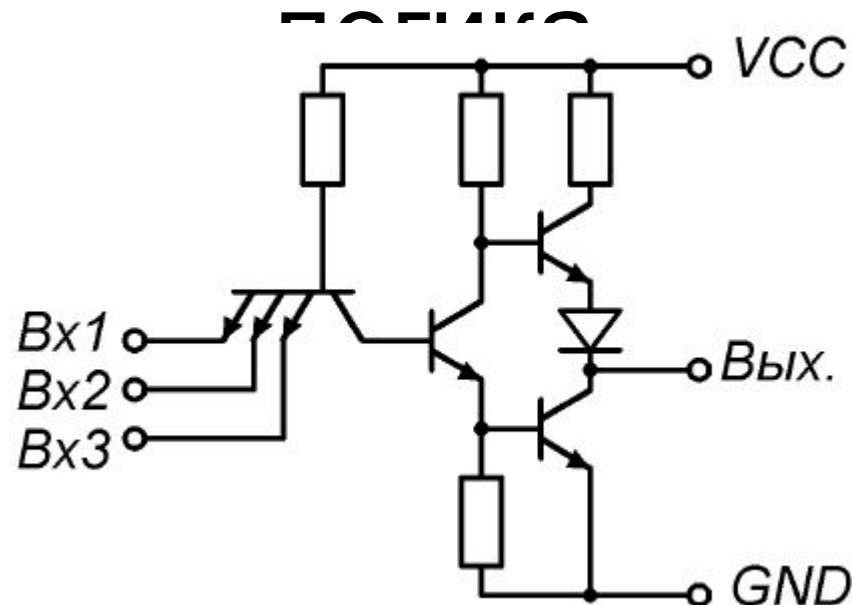
Элемент можно сделать многовходовым, используя диодную развязку (Рис). Дополнительный диод в цепи базы нужен для компенсации прямого падения напряжения на входных диодах. Элемент выполняет функцию логического умножения с инверсией «2И-НЕ». Такой тип «логики» называется диодно-транзисторная логика (ДТЛ). Логически такая схема работает правильно, но с точки зрения схемотехнической реализации она не оптимальна. Во-первых, элемент имеет большое внутреннее энергопотребление, во-вторых, низкое быстродействие из-за насыщения транзистора. Для более быстрого запираения транзистора к базе нужно прикладывать дополнительный источник отрицательного смещения.

Транзисторно-транзисторная



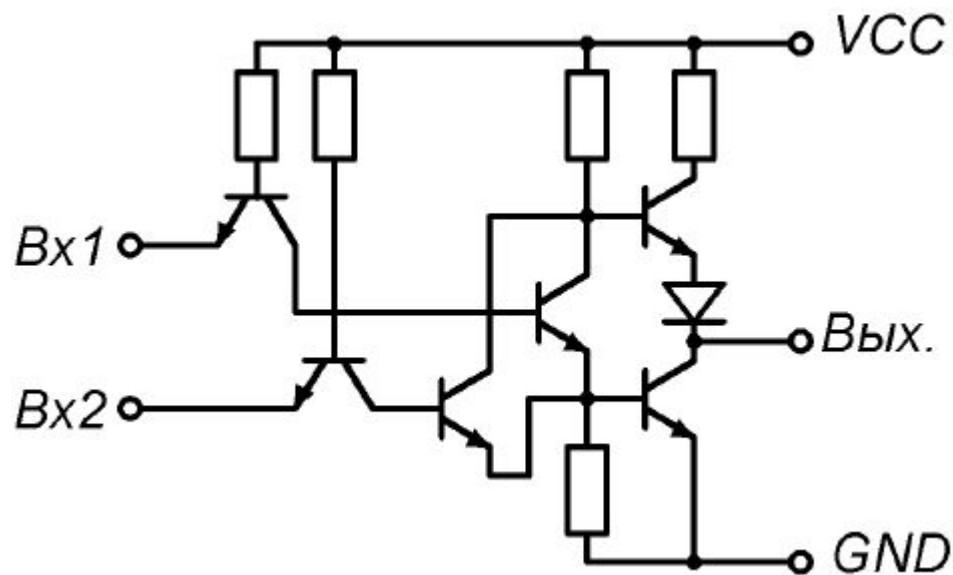
Наибольшую популярность на протяжении многих лет имела технология ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика). Особенностью этой технологии является использование многоэмиттерного биполярного транзистора (МЭТ) для организации многовходовых элементов с логикой «И». Схема базовой ячейки 3И-НЕ элемента ТТЛ показана на рисунке.

Транзисторно-транзисторная



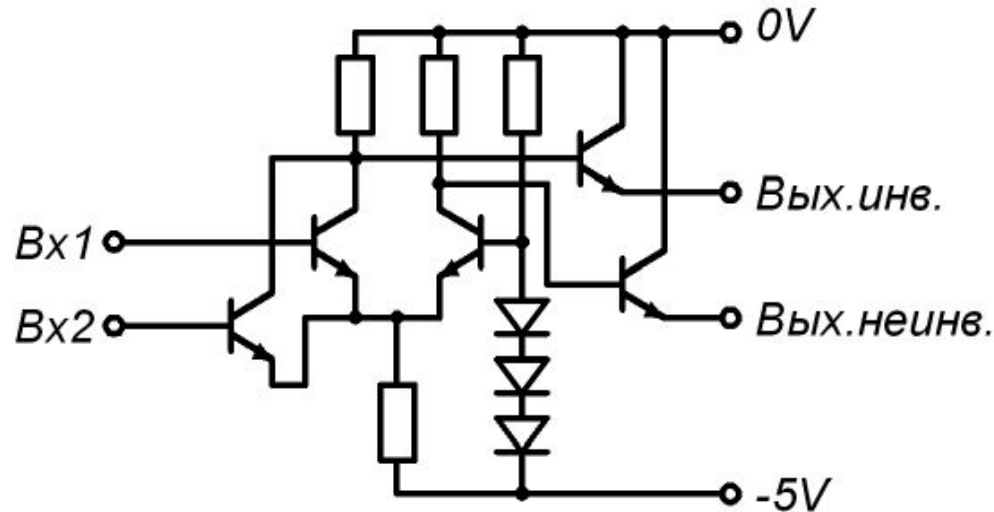
Переходы база-эмиттер МЭТ работают как диодные развязки, исключая влияние одного входа на другой, а отсутствие дискретных диодов на кристалле делает элемент более компактным. Выходной каскад построен по двухтактной схеме, что значительно снижает энергопотребление элемента. Диод в выходном каскаде создает дополнительное «запирающее» смещение для верхнего транзистора, исключая возникновение сквозного тока. Транзистор в промежуточном каскаде служит для предварительного усиления и создает противофазный сигнал для выходного каскада. Он переходит в открытое состояние только когда на всех входах присутствует сигнал логической 1. На выходе элемента при этом устанавливается сигнал низкого уровня (логический 0). Напряжение питания микросхем ТТЛ фиксировано и составляет +5В. Уровень логического «0» на входе определяется порогом открывания p-n перехода и не должен превышать 0.8 В. Уровень логической «1» на каждом из входов, необходимый для надежного переключения элемента составляет около 2 В. Выходной уровень «0» соответствует $U_{КЭ}$ и не превышает 0.4 В. Выходной уровень логической «1» складывается из падения напряжения на резисторе,

Транзисторно-транзисторная логика



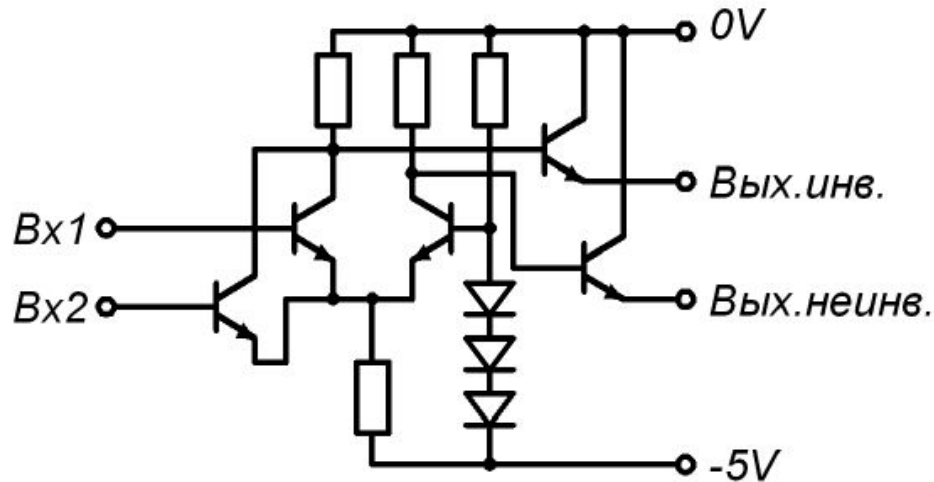
Наряду с элементами И-НЕ в ТТЛ существуют элементы, реализующие по входу логику ИЛИ. На рисунке приведена схема 2ИЛИ-НЕ. Самой известной серией отечественных микросхем ТТЛ логики является серия 155 и ее «военный» вариант 133. Эти микросхемы являются аналогами западных серий 74 и 54, изначально разработанными фирмой Texas Instruments. Быстродействие элемента (задержка на переключение) составляет около 15-20 нс. Существует несколько модификаций данной серии (с пониженным потреблением, с повышенным быстродействием и т.д.). Одна из таких модификаций – серия ТТЛШ (555 и 74S). В ней использованы диоды и транзисторы Шоттки, что позволило уменьшить задержку на переключение до 3 нс.

Эмиттерно-связанная логика



Быстродействие схем ТТЛ ограничивается тем, что транзисторы в них работают с насыщением. Наибольшим быстродействием обладает транзистор, работающий в линейном режиме. На этом принципе построена самая быстродействующая логика – ЭСЛ, элемент 2ИЛИ которой показан на рисунке

Эмиттерно-связанная логика



Входные каскады в ней построены по дифференциальной схеме и всегда работают в линейном режиме. Выходные каскады построены по схеме с общим коллектором (эмиттерные повторители) и также работают в линейном режиме. В результате достигается максимальное быстродействие элемента. Время задержки элемента для самой быстродействующей ЭСЛ серии достигает 1.6 нс. В отличие от традиционной логики, ЭСЛ обычно питают от отрицательного источника напряжения, а «плюсовая» шина элемента соединяется с «землей». Это делается для того, чтобы выходное напряжение, которое более «привязано» к плюсовой шине, слабо зависело от флуктуаций питающего напряжения, к тому же, выходы оказываются защищенными от короткого замыкания на «землю». В связи с этим, уровни логического «0» и «1» имеют нестандартные значения. При напряжении питания -5 В, уровень «1» равен -0.9 В, уровень «0» -1.7 В. Столь малый разброс уровней обусловлен минимизацией влияния входных емкостей на быстродействие схемы, что однако снижает помехоустойчивость. Кроме того, согласование сигнала ЭСЛ с другим типом логики вызывает затруднения и требует специальных интерфейсов. Платой за высокое быстродействие ЭСЛ является большой потребляемый ток – около 20 мА на элемент. Из-за большой потребляемой мощности производимые микросхемы ЭСЛ имеют

КМОП логика

В последние годы наибольшее распространение получила логика, построенная на комплементарных парах полевых транзисторов с изолированным затвором - КМОП. Несмотря на более сложный технологический процесс изготовления ячеек КМОП по сравнению с биполярными, на сегодняшний день логика КМОП практически вытеснила «биполярную» логику, благодаря своим уникальным свойствам. КМОП используется в микропроцессорах, микроконтроллерах, микросхемах статической памяти и других

КМОП логика

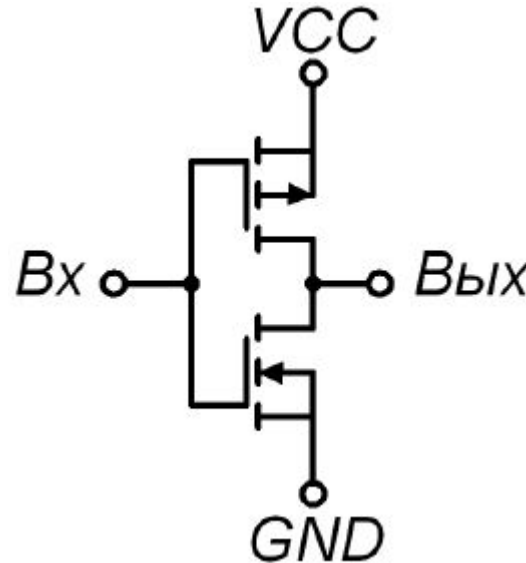
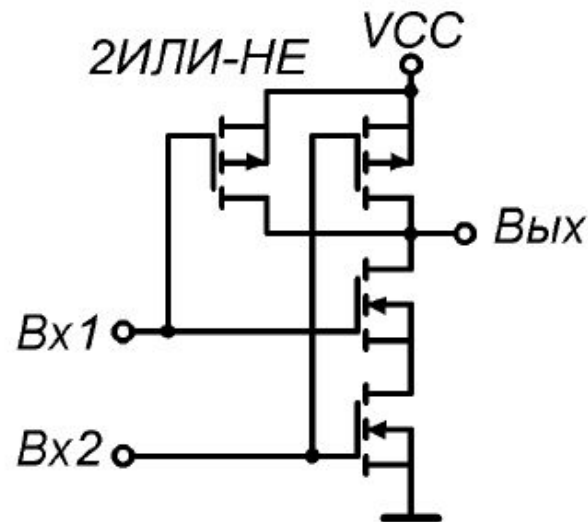
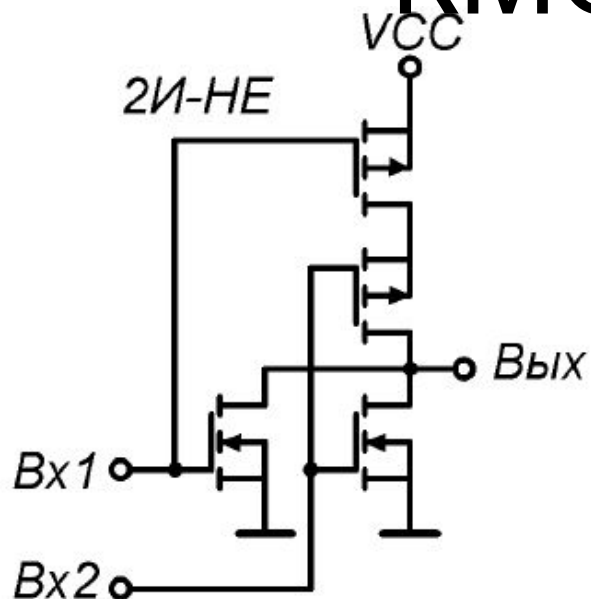


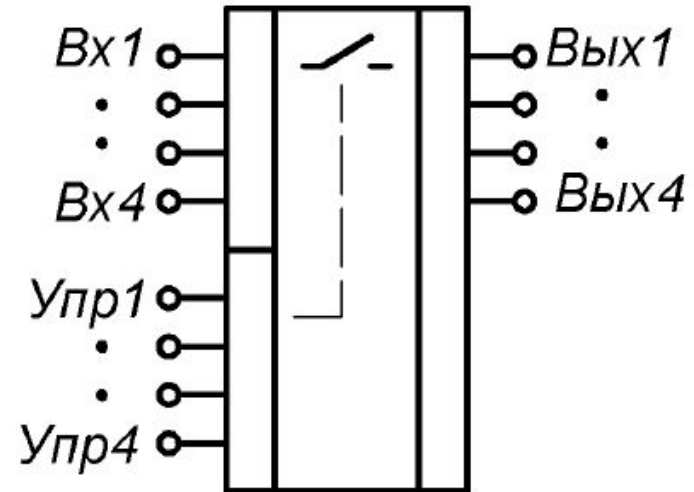
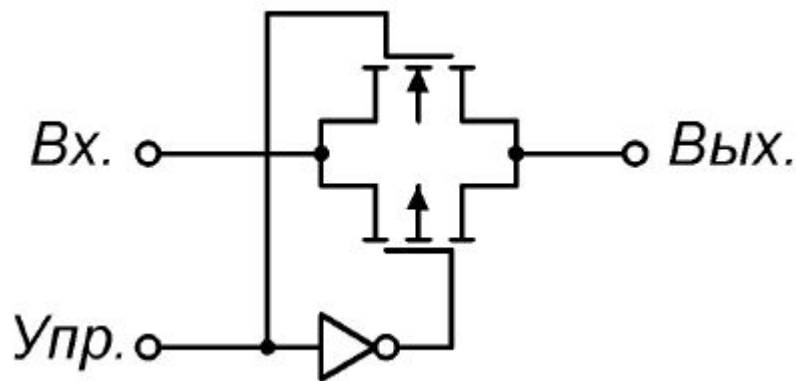
Схема элементарной КМОП ячейки «НЕ» показана на рисунке. Инвертор состоит всего из двух МОП-транзисторов разного типа проводимости, соединенных затворами и стоками. Входной уровень логического «0», при котором выход инвертора находится в состоянии «1» с напряжением близким к напряжению питания V_{CC} , соответствует зоне ниже порогового напряжения отпирания нижнего n-канального транзистора, а входной уровень «1», при котором выходное напряжение близко к нулю, должен быть выше порогового напряжения отпирания верхнего p-канального транзистора. Зона между «0» и «1» соответствует режиму линейного усиления элемента. Таким образом, в состоянии «0» и «1» элемент не потребляет тока ни по входу, ни внутри элемента. Потребление тока наблюдается только в переходных процессах и возрастает с ростом частоты переключения. Благодаря большому интервалу между напряжениями «0» и «1», КМОП микросхемы имеют высокую помехоустойчивость. В отличие от ТТЛ, КМОП работает в широком диапазоне питающих напряжений – от 3 до 15 вольт. Первые КМОП микросхемы имели довольно низкое быстродействие – порядка 1 мкс, но из-за очень низкого энергопотребления в статическом режиме они стали популярными в схемах автоматики и особенно в портативных устройствах (часах и т.п.). Из-за высокого сопротивления канала транзисторов ($R_{СИ}=0.2\div 2\text{ кОм}$) нагрузочная способность КМОП элемента очень невысока – около 2 мА.

КМОП логика



Технология КМОП позволяет очень легко строить многовходовую логику как по «И», так и по «ИЛИ» с помощью однотипных элементов. На рисунках приведены схемы элементов 2И-НЕ и 2ИЛИ-НЕ. Как видно, увеличение числа входов сводится лишь к параллельно-последовательному соединению соответствующих транзисторов. Недостаток такой топологии – зависимость нагрузочной способности от числа входов элемента из-за последовательного соединения нескольких транзисторов. Из наиболее популярных серий КМОП в отечественной промышленности можно назвать 561, 564 (аналог западной серии 4000А), «часовая» серия 176 и более современная быстродействующая серия – 1561 (аналог 4000В). Изначально ассортимент цифровых микросхем 77 КМОП уступал ассортименту ТТЛ и имел несовместимость по выводам для функционально аналогичных микросхем. Дальнейшее развитие КМОП технологии пошло по пути совместимости с ТТЛ как по цоколевке, так и по

Аналоговые ключи



В режиме насыщения канал полевого транзистора представляет собой линейное сопротивление, величина которого зависит от приложенного напряжения затвор-исток. На этом принципе построен аналоговый ключ – устройство, способное коммутировать аналоговый сигнал небольшого напряжения, не вносящее в него нелинейных искажений. Ключ состоит из двух МОП транзисторов с разным типом проводимости, включенных встречно-параллельно и управляемых общим сигналом, подаваемым на затворы транзисторов в противофазе. Схема аналогового ключа показана на рисунке. Сопротивление открытого канала составляет от 10 до 100 Ом. Главное условие работы ключа – уровень управляющего напряжения должен быть всегда выше точки выхода канала из насыщения – этим условием задается диапазон входных аналоговых напряжений. Ключ обладает симметрией, то есть выход ключа можно использовать как вход и наоборот. Аналоговые ключи выпускаются в виде интегральных микросхем, в одном корпусе обычно размещается от 2 до 8 ключей с идентичными параметрами (Рис.7.5.2). Ключи могут быть использованы и для коммутации цифровых сигналов, в качестве мультиплексоров, демультиплексоров и т.п. При этом управляющий сигнал организован в виде двоичного кода, а схема дешифрации (выбора нужного канала) находится внутри микросхемы. Из отечественных серий аналоговых ключей наиболее известна серия КР590.

Не забываем выполнить
лабораторную работу и отчет