

Лабораторная работа № 20

Исследование работы базового логического элемента серии 155

Интегральная микросхема (ИМС), или, короче, микросхема, представляет собой изделие на активных и пассивных элементах и соединительных проводниках, выполненное в объеме и на поверхности полупроводникового кристалла таким образом, что создается определенная электронная схема. Кристалл помещен в корпус для защиты от внешних воздействий (механических, климатических и др.). Характерная особенность ИМС - большая плотность упаковки элементов.

Наибольшее распространение имеют следующие виды ИМС:

ТТЛ – микросхемы транзисторно-транзисторной логики на биполярных транзисторах;

ЭСЛ – микросхемы эмиттерно-связанной логики на биполярных транзисторах;

МОП (или МДП) – микросхемы на полевых транзисторах структуры металл-оксид-полупроводник (металл-диэлектрик-полупроводник);

КМОП – микросхемы с симметричной структурой на полевых транзисторах р и n-типа.

В настоящее время для любителей наиболее доступны микросхемы ТТЛ. По этой причине именно они и рассматриваются в книге.

Если в устройствах, собираемых из отдельных радиоэлементов, основным активным компонентом являются транзисторы, число которых определяет степень сложности схемы, то в устройствах на ИМС эту роль выполняют логические элементы (ЛЭ). Логический элемент представляет собой электронное устройство, на входах и выходах которого сигнал может иметь только один из двух дискретных уровней напряжения: низкой или высокой. Эти уровни обычно называют логическим нулем (нулевой сигнал) или логической единицей (единичный сигнал). Выходной сигнал связан с входными сигналами определенной логической операцией.

Базовые элементы разных видов микросхем (ТТЛ,ЭСЛ,МОП,КМОП и др.) в функциональном значении различаются. Базовым считают элемент с наиболее простой структурой, на основе которого легче всего создавать другие электронные схемы. Для микросхем ТТЛ таким элементом является логическая схема И-НЕ.

Схема базового ЛЭ И-НЕ семейства ТТЛ показана на рис.1.1 и 1.2. Он образован n-p-n транзисторами VT1, VT2, VT3 и VT4. Транзистор VT1 устроен необычно: он имеет не один, а несколько эмиттеров. Их число определяет число входов элемента. Выпускаются ЛЭ И-НЕ с 2, 3, 4 и 8 входами. Все входы ЛЭ И-НЕ равноценны. Мы рассмотрим простейший случай - ЛЭ с двумя входами. Кроме транзисторов элемент содержит четыре резистора и один диод. Структура реального ЛЭ отличается от изображенной на рисунке. Кроме показанных схемных элементов здесь имеются паразитные транзисторные и диодные структуры. При работе в нормальных режимах они, однако, заперты и ими можно спокойно пренебречь.

Приведенные на рисунках номиналы резисторов характеризуют так называемые универсальные (стандартные) серии ТТЛ.¹Для изготовления устройств по схемам, описанным ниже, можно применять ЛЭ И-НЕ и других серий. При этом в отдельных случаях потребуется некоторое изменение номиналов навесных радиоэлементов.

¹ Семейство ИМС ТТЛ включает в себя следующие серии: микромощные - с пониженным потреблением мощности и невысоким быстродействием (отечественные серии 134 и КР134); универсальные (стандартные) - со средним потреблением мощности и средним быстродействием (133, К133, К155, КМ155); быстродействующие - повышенного быстродействия на транзисторах Шотки (550 и К531); маломощные на транзисторах Шотки (533 и К555), по быстродействию близкие к универсальным, а по потреблению - к микромощным.

При рассмотрении работы базовых ЛЭ И-НЕ сделаем следующие допущения (технически оправданные):

падение напряжения на р-п переходах, смещенных в прямом направлении (т.е. проводящих), неизменно и равно 0,7 В;

падение напряжения на открытом (проводящем) диоде также неизменно и равно 0,7 В;

падение напряжения на переходе коллектор-эмиттер насыщенного транзистора пренебрежимо мало;

напряжение на входе ИМС, превышающее 2 В, принято за высокий уровень и считается логической единицей;²

напряжение ниже 0,8 В на входе принято за низкий уровень и считается логическим нулем.³

Рассмотрим два случая работы элемента.

А. На все входы ЛЭ И-НЕ подано напряжение высокого уровня (рис.1.1). В этом случае на его выходе действует напряжение низкого уровня.⁴ Это значит, что транзистор VT3 отперт и насыщен. Согласно принятому допущению напряжение на базе VT3 равно +0,7 В. Транзистор VT2, эмиттерный ток которого обеспечивает насыщение VT3 (часть этого тока протекает и через резистор R₃), тоже насыщен, поэтому напряжение на его базе равно 1,4 В.

На эмиттерах транзистора VT1 высокое напряжение, на базу через резистор R₁ подано напряжение U_н=+5 В, а напряжение на коллекторе равно +1,4 В. В этих условиях переходы эмиттер - база смещены в обратном направлении, а переход база - коллектор - в прямом, что соответствует инверсному включению транзистора. При таком включении коэффициент усиления по току очень мал. Этим объясняется тот факт, что ток, протекающий через каждый вход, невелик - около 40 мкФ.

Через переход база - коллектор транзистора VT1 протекает ток

$$I_k = \frac{5 - 2,1}{4 \cdot 10^3} \approx 0,7 \text{ мА}$$

который является базовым током транзистора VT2.

Такого тока достаточно для насыщения транзистора VT2. Напряжение на коллекторе VT2 при этом будет +0,7 В. Оно запирает транзистор VT4, причем для большей гарантии добавлен диод VD1. Таким образом, транзистор VT4 выключен, а входной ток ЛЭ равен коллекторному току транзистора VT3. Для логических элементов И-НЕ ТТЛ универсальных серий с обычной нагрузочной способностью выходной ток $I_{вых}^0$ не должен превышать 16 мА.

При напряжении высокого уровня на всех входах ЛЭ И - НЕ на выходе действует напряжение низкого уровня. Транзистор VT1 включен инверсно, VT2 и VT3 отперты и насыщены, а VT4 заперт. Входной ток ЛЭ пропорционален числу входов, а также току одного

² В действительности входное напряжение высокого уровня, как правило, превышает 2,4 В. Разность 0,4 В называется помехоустойчивостью ("шумовым иммунитетом") и характеризует устойчивость ЛЭ к внешним помехам.

³ В действительности входное напряжение низкого уровня обычно бывает ниже 0,4 В. Разность 0,4 В также характеризует помехоустойчивость.

⁴ В действующей аппаратуре непосредственно подключить входы ТТЛ к шине питания, как показано на рис.1.1 и 1.2 (вход А), нельзя, так как входной ток будет превышать допустимое значение. С неиспользуемыми входами ЛЭ И-НЕ следует поступать, как показано в табл.1.1...1.3 и на рис.2.2.

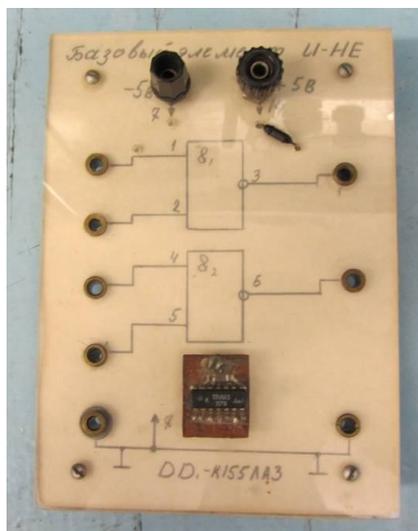
эмиттера многоэмиттерного транзистора, но не превышает 40 мкА (обычно равен 10 мкА). Входной ток "втекает" в ЛЭ. Максимальный выходной ток 16 мА. Он также "втекает" в ЛЭ.

Б. На один из входов или на все входы ЛЭ И - НЕ подано напряжение низкого уровня. На рис.2а показано, что один из входов подключен к шине U_n , а другой к общей шине. Теперь транзистор VT1 включен нормально. Один из его эмиттеров (В) имеет более низкий потенциал, чем потенциал базы. Ток этого эмиттера является в сущности входным. Его значение определяется сопротивлением резистора R_1 и не превышает 1,6 мА. Напряжения в различных точках схемы указаны на рисунке. Транзисторы VT2 и VT3 заперты (назначение резистора утечки R_3 - предохранять VT3 от отпирания начальным током VT2). Транзистор VT4 отперт током, протекающим через базу и резистор R_2 , но при этом не насыщается. Если $I'_{вых} \leq 2,3 \text{ мА}$, выходное напряжение высокого уровня $U'_{вых} > 2,4 \text{ В}$, т.е. превышает минимальное допустимое.

При напряжении низкого уровня хотя бы на одном из входов ЛЭ И - НЕ на выходе действует напряжение высокого уровня. Переход эмиттер - база транзистора VT1 смещен в прямом направлении, а переход база - коллектор - в обратном. Транзисторы VT2 и VT3 заперты, а VT4 отперт, но не насыщен. Максимальный входной ток 2,3 мА. Он также "вытекает" из ЛЭ.

Транзисторы VT2, VT3 и VT4 (рис.1 и 2) образуют так называемый сложный инвертор. В каждом состоянии ЛЭ один из двух выходных транзисторов - VT3 или VT4 - отперт. Благодаря этому выходное сопротивление ЛЭ в обоих состояниях достаточно мало. Тем самым обеспечивается быстрый заряд и разряд паразитных емкостей, которые могут быть на выходе. Во время переключения транзисторов VT3 и VT4 из одного состояния в другое ток, потребляемый ЛЭ от источника питания, резко возрастает. Причина в том, что при переключениях оба транзистора в течение весьма короткого времени бывают отперты одновременно и ток в цепи питания ограничен только резистором R_4 (около 130 Ом).²

Оборудование



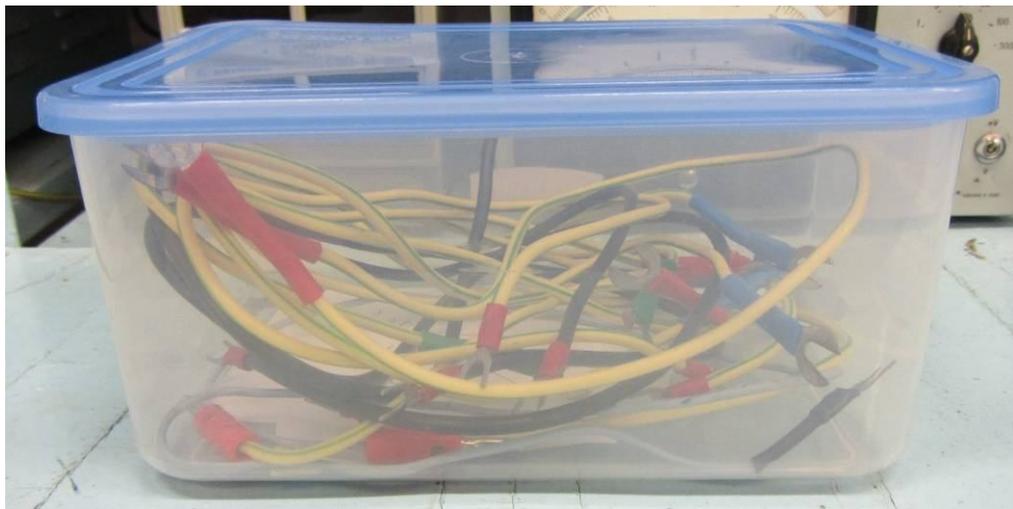
¹ Понятие "втекающий" и "вытекающий" применительно к току ИМС условны и зависят от выбранного направления тока. Принято считать, что ток течет от плюса источника питания к минусу. Сравните, например, направления стрелок на условном графическом обозначении транзисторов типа p-n-p и n-p-n.

² Имеется также разновидность ИМС - так называемые микросхемы с открытым коллектором, в выходном каскаде которых отсутствуют транзистор VT4, диод и резистор. Такие ИМС удобно использовать с внешней нагрузкой для выходного транзистора VT3 в виде резистора, лампы накаливания, светодиода и др.



Или





ХОД РАБОТЫ

1. Составить таблицу истинности базового логического элемента И - НЕ серии К 155 (ТТЛ), подав на вход элемента с блока питания БП-2 логический ноль или логическую единицу.
2. С помощью логических элементов И - НЕ собрать схему RS - триггера и составить таблицу истинности.

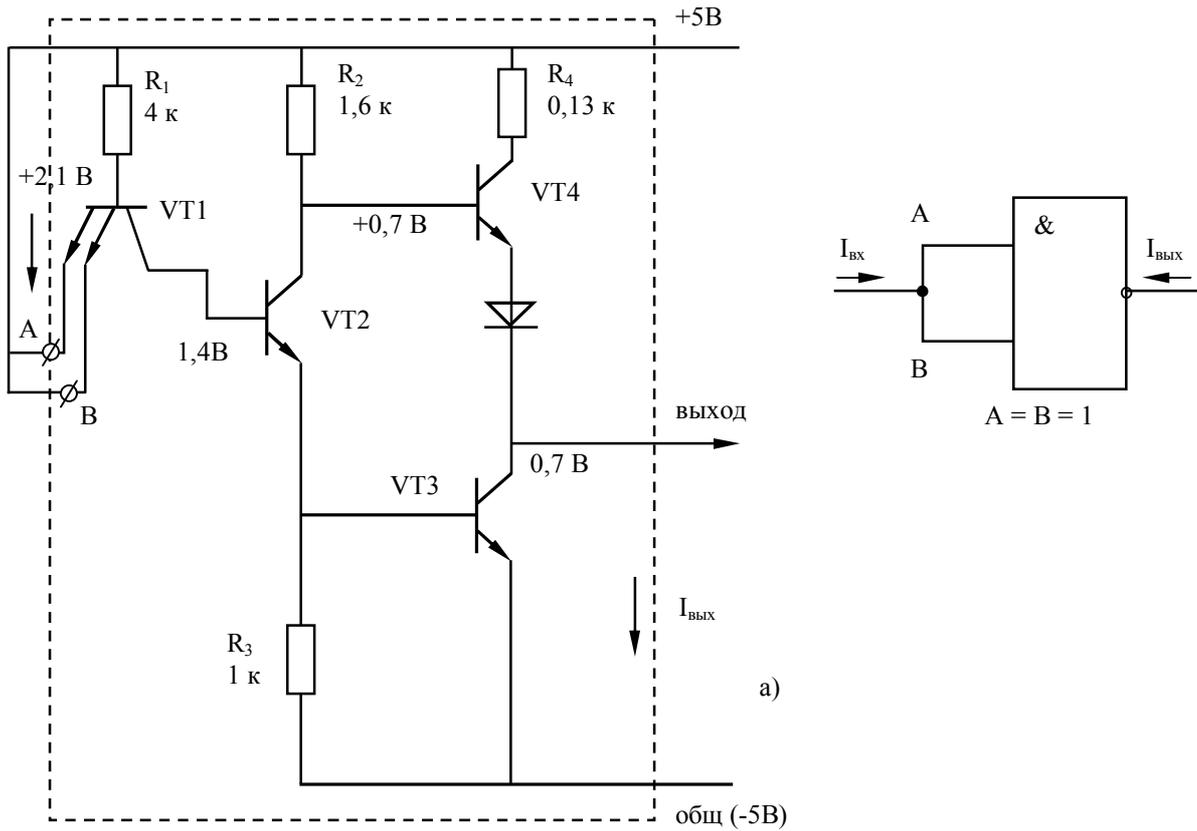


Рис. 1. Логический элемент И-НЕ с входным напряжением высокого уровня:
 а) принципиальная схема; б) условное графическое изображение (на всех входах напряжение высокого уровня).

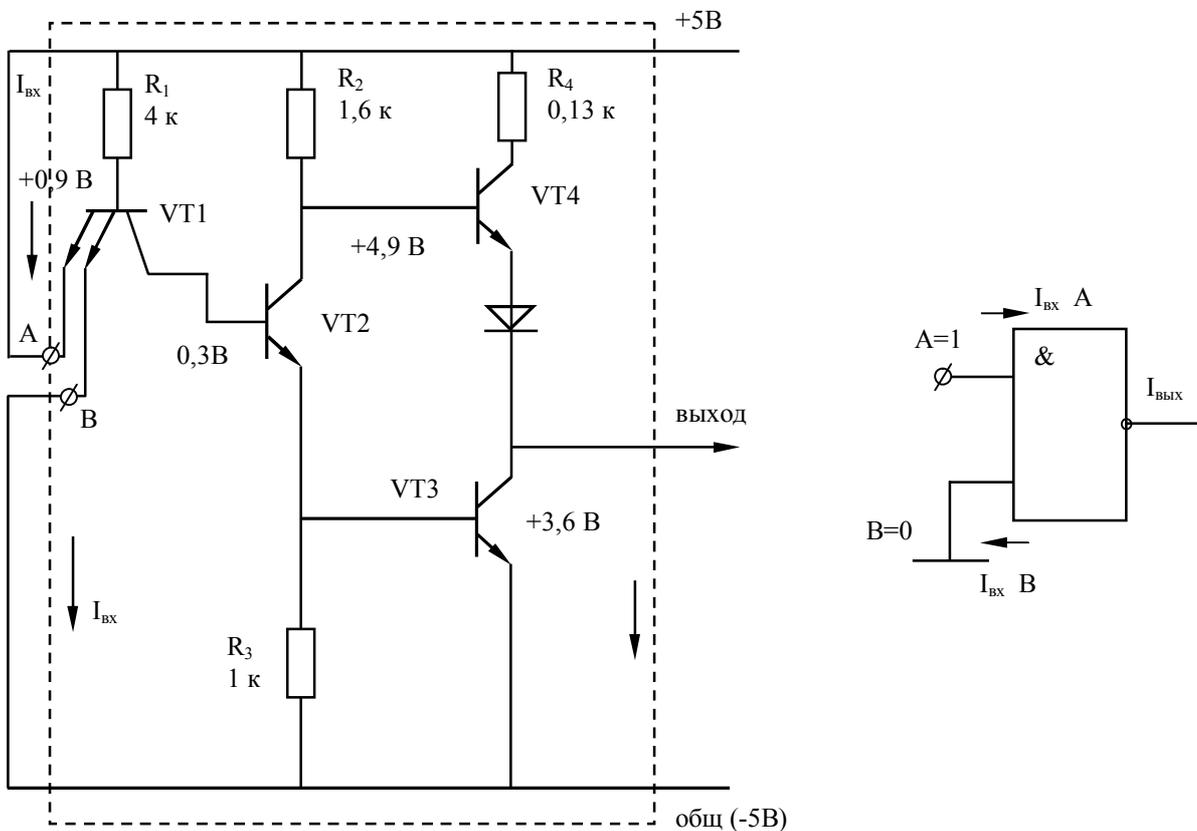


Рис. 2. Логический элемент И-НЕ с входным напряжением низкого уровня:
 а) принципиальная схема; б) условное графическое изображение (напряжение низкого уровня хотя бы на одном входе).