

Импульсные и цифровые устройства

Вопросы лекции:

1. Триггер и мультивибратор, их схемы и основные характеристики
2. Понятие о логических элементах и интегральных микросхемах

1. Триггер и мультивибратор, их схемы и основные характеристики

1.1. Импульсные устройства с устойчивыми состояниями.

Триггеры

Устройство, обладающее двумя сколь угодно длительно устойчивыми состояниями равновесия и способностью скачком переключаться из одного состояния равновесия в другое под воздействием внешних запускающих импульсов, называют **триггером**.

Элементной базой для выполнения триггеров являются электронные лампы, биполярные и полевые транзисторы, туннельные диоды, гибридные и интегральные микросхемы.

Триггеры состоят из двух секций, связанных между собой цепями обратной связи (рис.1,а и б). Благодаря такой связи триггер в определенный промежуток времени может находиться только в одном из двух его устойчивых состояний (за исключением коротких интервалов времени, относящихся к переходу триггера из одного устойчивого состояния в другое).

Переключение триггера из одного устойчивого состояния в другое производится с помощью внешнего запускающего импульса управления.

Различие в схемах триггеров (рис.1,а и б) заключается в числе входных цепей для импульсов управления.

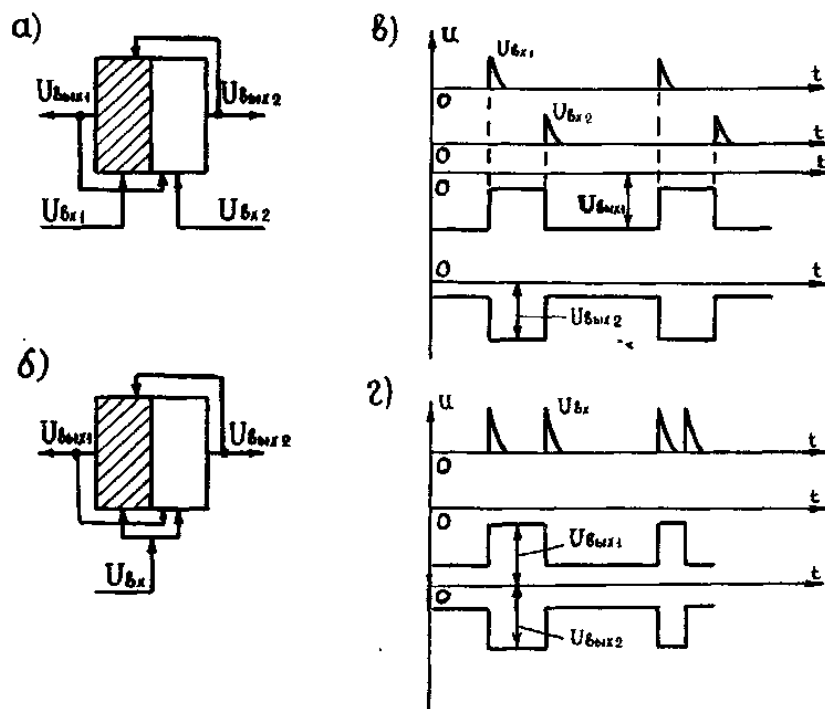


Рисунок 1. Триггеры:
а, б – структуры; в, г – временные графики

У триггера с раздельными входами (рис. 1,а) входных цепей две. Через каждую из них поочередно поступают импульсы одного (положительного) знака (см. диаграммы рис. 1,в).

У триггера с общим входом (рис. 1,б) у обеих секций общая входная цепь. Через этот вход последовательно поступают импульсы одного знака (см. диаграммы рис. 1,г).

Триггеры с раздельными входами применяются в релейной технике, системах связи и автоматического регулирования в качестве элементов памяти. Триггеры с общим входом применяются преимущественно в цифровой вычислительной технике. Такие триггеры часто называют еще триггеры со счетным входом.

В автоматических устройствах и счетной технике применяются также специальные типы триггеров: динамические, JK -триггеры и др.

По схемам сочленения и составу элементов, входящих в цепи обратной связи, различают триггеры:

а) с коллекторно-базовой связью, выполняемой обычно с R или R и C элементами;

б) с эмиттерной связью, выполняемой на сопротивлениях.

Наиболее распространенным типом триггера является триггер с кол

латорно-базовой обратной связи, в которую входят активное сопротивление или параллельно включенные активное сопротивление R и емкость C . Принципиальная схема такого триггера с отдельными входами и внешним смещением приведена на рис. 2 с общим (счетным) входом и автоматическим смещением приведена на рис.3.

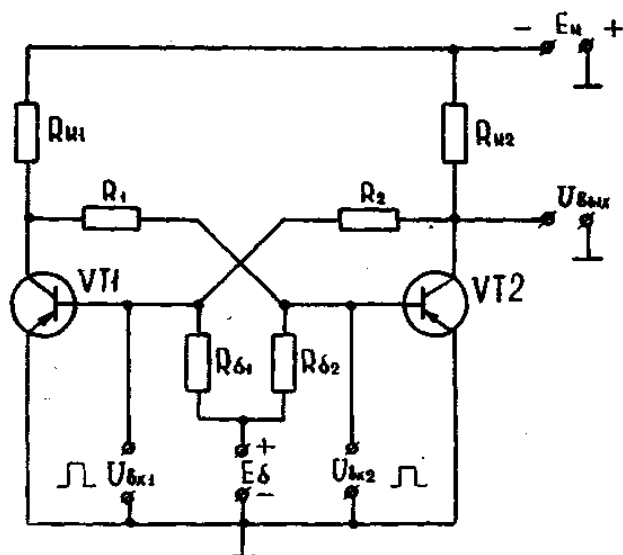


Рисунок 2. Схема триггера с отдельными входами и внешним смещением

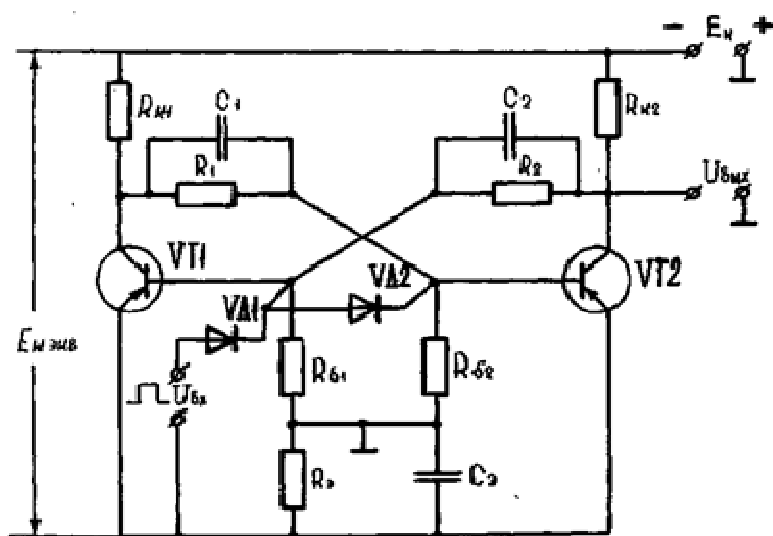


Рисунок 3. Схема триггера с общим (счетным) входами и автоматическим смещением

В устройстве, содержащем много триггеров, независимо от того, имеют ли триггеры отдельные входы или общий вход, применяется обычно независимое смещение (E_{δ}), получаемое от общего внешнего источника напряжения

(рис.1.2). Оно является более экономичным и обеспечивает вместе с тем более высокую надежность работы триггера, так как напряжение смещения не зависит в этом случае от возможных колебаний напряжения в цепи питания.

В случае, когда проектируют устройство с малым количеством триггеров, применение дополнительного источника смещения E_6 является невыгодным. Вместо него в схемах триггеров используют автоматическое смещение. С этой целью в общую эмиттерную цепь транзисторов включают резистор R_3 , параллельно которому подключен конденсатор C_3 (рис.3).

Ток эмиттера I_3 , протекая по цепи: $+E_k$ (корпус) – резистор R_3 – открытый транзистор VT1 или VT2, резистор R_{k1} или $R_{k2} - E_k$, создает на резисторе R_3 падение напряжения:

$$U_3 = I_3 R_3 = \frac{E_k}{R_3 + R_k} \cdot R_3,$$

которое и выступает в роли источника напряжения смещения.

Конденсатор C_3 емкостью несколько тысяч пикофарад служит для обеспечения постоянства U_3 в момент опрокидывания триггера.

Цепи обратных связей с RC -звеньями, связывающие коллектор одного транзистора с базой другого, образуют замкнутую петлю обратной связи. Принципиально можно было ограничиться введением в цепи обратных связей только активных сопротивлений $R1$ и $R2$ (рис. 2), однако шунтирование их конденсаторов $C1$ и $C2$ (рис. 3) обеспечивает значительное повышение скорости действия этих цепей.

В одном из устойчивых состояний один из транзисторов триггера заперт, а другой открыт.

Чтобы повысить статическую устойчивость триггера при возможных колебаниях напряжения питания и температуры окружающей среды, открытый транзистор находится в режиме насыщения.

Надежное запирающее второго транзистора обеспечивается тем, что его базе сообщается положительный потенциал по отношению к эмиттеру. В схеме рис. 2 это достигается присоединением базы через сопротивление R_6 и положительному полюсу источника смещения E_6 , отрицательный полюс которого заземлен (или соединен с корпусом) так же, как и эмиттеры транзисторов VT1, VT2. А схеме рис.3, как было сказано выше, – за счет автоматического смещения, создаваемого напряжением на R_3 и C_3 .

1.2. Импульсное устройство с временно устойчивыми состояниями. Мультивибратор

Импульсные устройства с временно устойчивыми состояниями являются генераторами релаксационных (разрывных) электрических колебаний, параметры которых и частота следования могут изменяться в широких пределах.

Особенно часто встречающимися релаксационными генераторами во многих электронных устройствах являются мультивибраторы и генераторы пилообразного напряжения. Рассмотрим мультивибратор.

Мультивибратор — это многочастотный генератор релаксационных электрических колебаний, форма которых близка к прямоугольной. Он состоит из двух усилительных элементов, охваченных положительной обратной связью. Усилительные элементы выполняются на электронных лампах, биполярных или полевых транзисторах, интегральных микросхемах, туннельных диодах и других приборах.

Типичная схема мультивибратора на биполярных транзисторах приведена на рис. 4,а.

Мультивибратор представляет собой двухкаскадный усилитель с перекрестной положительной обратной связью, осуществляемой через конденсаторы $C1$ и $C2$. Конденсатор $C1$ соединяет базу транзистора $VT2$ с коллектором транзистора $VT1$, второй $C2$ включен между базой транзистора $VT1$ и коллектором транзистора $VT2$.

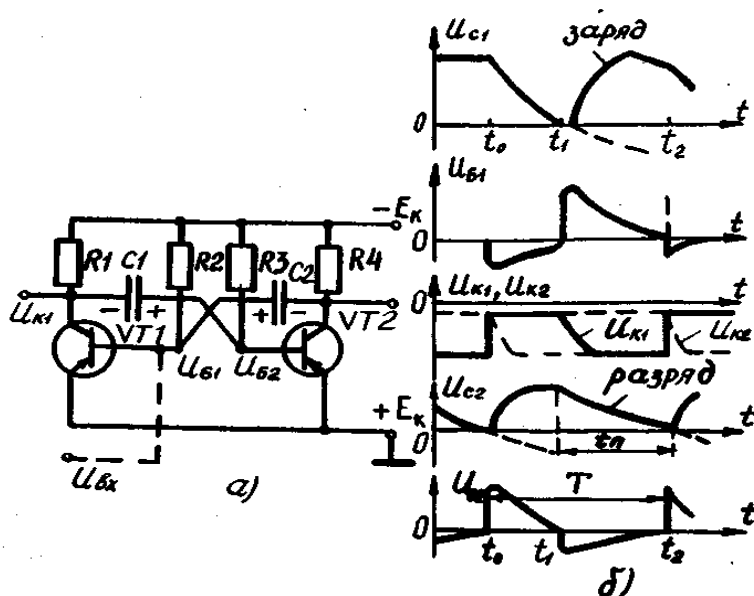


Рисунок 4. Мультивибратор:

а — схема; б — временные диаграммы, поясняющие его работу

Смещение транзисторов отрицательным напряжением (выбор рабочей точки), подаваемым на базы транзисторов, осуществляется через резисторы R_2 и R_3 .

Мультивибратор называется симметричным, если транзисторы имеют одинаковые параметры и выполняются условия:

$$R_1 = R_4 = R_k; \quad R_2 = R_3 = R_6; \quad C_1 = C_2 = C.$$

Мультивибратор работает в следующих основных режимах: автоколебательном, ждущем, синхронизации. Рассмотрим работу симметричного мультивибратора в автоколебательном режиме. Процесс работы генератора поясняется временными диаграммами, представленными на рис. 4,б.

Пусть включение источника питания мультивибратора происходит в момент $t = t_0$. Когда один из транзисторов (с более отрицательным потенциалом на базе), например VT1, открыт, а второй VT2 заперт, то в этот момент времени конденсатор C_1 заряжен, а C_2 – разряжен. Далее происходит разряд конденсатора C_1 преимущественно через резистор R_3 , источник питания и эмиттер-коллекторный переход открытого транзистора VT1. Напряжение на конденсаторе C_1 , а следовательно, и на базе (u_{62}) транзистора VT2 убывает по экспоненте, и когда потенциал базы транзистора станет равным потенциалу отпирания, происходит изменение состояния мультивибратора: транзистор VT2 отпирается, а VT1 запирается. Процесс переключения транзисторов происходит лавинообразно, так как положительное изменение потенциала на коллекторе транзистора VT2 передается через емкость конденсатора C_2 на базу транзистора VT1 и ускоряет его запирацию. Напряжения на конденсаторах C_1 и C_2 не могут изменяться скачком, так как для изменения этих напряжений требуется время, определяемой постоянными времени заряда $\tau_z = R_1 C_1$ и разряда $\tau_p = R_2 C_2$.

Заряд конденсатора C_1 происходит по цепи: плюс источника питания, эмиттер-базовый переход открытого транзистора VT2, резистор R_1 , минус источника питания. Разряд конденсатора C_2 осуществляется по цепи: плюс обкладка конденсатора, резистор R_2 , источник питания, эмиттер-коллекторный переход открытого транзистора VT2. Время заряда конденсатора C_1 меньше времени разряда конденсатора C_2 , так как $R_1 \ll R_2$ (заряд происходит быстрее разряда).

После опрокидывания мультивибратор остается в таком состоянии до тех пор, пока снова не откроется запертый транзистор VT1 в результате уменьшения напряжения на конденсаторе C2, а следовательно, на базе $u_{б1}$ транзистора VT1.

Таким образом, происходит генерирование импульсов напряжения $u_{к1}$ и $u_{к2}$, снимаемых с коллекторов транзисторов VT1 и VT2. Форма этих импульсов близка к прямоугольной. Высота импульсов примерно равна напряжению источника питания E_k .

В симметричном мультивибраторе длительность импульсов $t_{и}$ определяется временем разряда конденсатора τ_p . Из формулы экспоненты

$$u_c = E_k l^{-t_{и}/\tau_p} = E_k l^{-t/R_6 C},$$

описывающей изменение напряжения разряда конденсатора C от начального значения $u_{с.нач} = E_k$ до порогового напряжения на базе транзистора $u_{с.порог}$, при котором срабатывает транзистор, можно определить длительность импульса

$$t_{и} = R_6 C \ln 2 \approx 0,7 R_6 C .$$

Длительность периода следования импульсов симметричного мультивибратора

$$T = 2 \tau_{п} \approx 0,7 R_6 C .$$

Частота колебаний мультивибратора может быть определена приближенно по формуле $f = 1/T$.

Регулировка длительности импульса $t_{п}$ осуществляется изменением значений

$R_2 = R_3 = R_6$ или $C1 = C2 = C$, т.е. постоянной времени разряда

$$\tau_p = R_6 \cdot C .$$

Недостатками мультивибратора, собранного по схеме (рис.1.4,а), являются малая крутизна фронта импульса, обусловленная временем заряда кон-

денсатора C через резистор R_k ; небольшая скважность прямоугольных импульсов $Q = T/t_{\text{п}} = 2$.

Схема мультивибратора, работающего в ждущем режиме (ждущий мультивибратор называют еще одновибратором), отличается от обычного тем, что один из конденсаторов, например $C2$, в схеме на рис. 4,а заменен резистором, а также сделан внешний вывод базы транзистора VT1.

Ждущий мультивибратор предназначен для формирования импульсов напряжения прямоугольной формы под воздействием внешнего (запускающего) напряжения $u_{\text{вх}}$.

Ждущий мультивибратор самостоятельно не возбуждается. При отсутствии входного сигнала он находится в состоянии устойчивого равновесия (один транзистор открыт, другой закрыт). Подачей на вход внешнего импульса напряжения осуществляется опрокидывание ждущего мультивибратора. По истечении времени, необходимого на разряд конденсатора $C1$, мультивибратор, возвращаясь в исходное состояние, выдает импульс прямоугольной формы. С помощью ждущего мультивибратора можно задержать импульс на требуемое время. Новый запускающий импульс подается через время, необходимое для восстановления ждущего мультивибратора, т.е. для заряда конденсатора $C1$.

В режиме синхронизации мультивибратор будет переходить из одного устойчивого состояния в другое не под влиянием собственных параметров, а под воздействием внешних синхронизирующих импульсов. Для устойчивой работы мультивибратора период его собственных колебаний должен быть несколько больше периода повторения синхронизирующих импульсов.

В режиме синхронизации мультивибратор используется для согласования одновременной работы нескольких электронных устройств, а также для деления частоты сигналов.

2. Понятие о логических элементах и интегральных микросхемах

2.1. Логические элементы

Для поддержания режимов технологических процессов и решения современных задач по ускорению научно-технического прогресса необходимо принимать определенные решения в зависимости от конкретных условий.

Наличие или отсутствие определенного условия можно отождествлять с наличием или отсутствием напряжения электрического сигнала различного уровня. Используя логические элементы, можно требуемое решение осуществить при помощи логических устройств, в которых полезная информация о принятом решении представляется в виде цифрового двоичного кода. В этих устройствах логические элементы чаще всего строят на базе электронных приборов, работающих в ключевом режиме. Поэтому сигналы, несущие полезную информацию, принимают только два значения: “0” – логический ноль и “1” – логическая единица, соответствующие двум состояниям электронного ключа.

Теория утверждает, что для выполнения основных логических преобразований достаточно иметь три логических элемента, которые выполняют операции: логическое отрицание (логическое НЕ), логическое сложение (логическое ИЛИ) и логическое умножение (логическое И).

Используя элементы НЕ, ИЛИ, И и их различные комбинации, можно составить сколь угодно сложные логические устройства, например, счетчики импульсов, сумматоры, блоки памяти ЭВМ, распределители сигналов и другие устройства.

В качестве элементной базы логических элементов используются электронные лампы, электромеханические реле, полупроводниковые диоды и транзисторы, интегральные микросхемы и их различные комбинации.

Наибольшее распространение получили логические элементы на основе интегральных, гибридных и больших интегральных микросхем. Они обладают такими важными преимуществами, как высокие быстродействие и надежность, малый расход энергии, малые объем и габариты устройств.

Рассмотрим логические элементы, выполненные на основе транзисторов.

Логический элемент НЕ (рис. 5). Транзистор в схеме рис. 5,а работает как электронный ключ. При отсутствии входного сигнала ($U_{\text{вх}} = 0$) транзистор закрыт и на его выходе $U_{\text{вых}} \approx -E_{\text{к}}$, т.е. $U_{\text{вых}} > 0$.

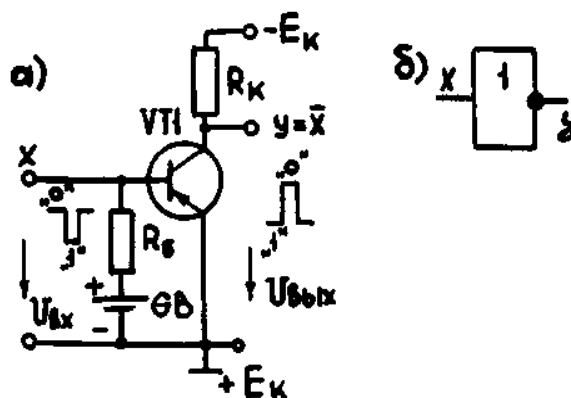


Рисунок. 5. Логический элемент НЕ:

а – схема; б – условное обозначение

Если на вход транзистора подано отрицательное напряжение ($U_{вх} < 0$), то он откроется и изменится напряжение на выходе ($U_{вых} \approx 0$). Условно принято низкий уровень входного и выходного напряжений отождествлять с логической единицей “1”, а высокий уровень – с логическим нулем “0”. Можно предположить обратное отождествление (низкий уровень напряжения – “0”, высокий – “1”). Элемент НЕ реализует логическое отрицание – и н в е р с и ю – или операцию НЕ. Инверсия обозначает истинность одного суждения и ложность другого. Эту операцию записывают так: $y = \bar{x}$, что означает: y есть НЕ x . Отрицание единицы равно нулю ($1 = \bar{0}$) и, наоборот, ($0 = \bar{1}$). При отрицательном импульсном сигнале на входе “1” транзистор откроется, на выходе появится сигнал “0” (и наоборот, при подаче на вход “0” на выходе будет “1”). Элемент НЕ изменяет полярность входного сигнала (импульс на выходе имеет противоположную полярность по сравнению с входным импульсом).

Условное обозначение элемента НЕ показано на рис. 5,б.

Л о г и ч е с к и й э л е м е н т ИЛИ (рис. 6). В исходном состоянии транзисторы VT1, VT2, VT3 (рис. 6,а) заперты положительным напряжением источника смещения E_{GB} . Так как транзисторы включены параллельно и выходной сигнал снимается с резистора R_3 , включенного в цепь эмиттеров, то сигнал на выходе появляется при подаче одного из трех отрицательных сигналов, поступающих на входы (x_1, x_2, x_3) элемента ИЛИ. При этом выходной сигнал не инвертируется, т.е. совпадает по фазе с входным сигналом. При подаче “1” на выходе появится также “1”. Элемент ИЛИ осуществляет логическое сложение входных сигналов.

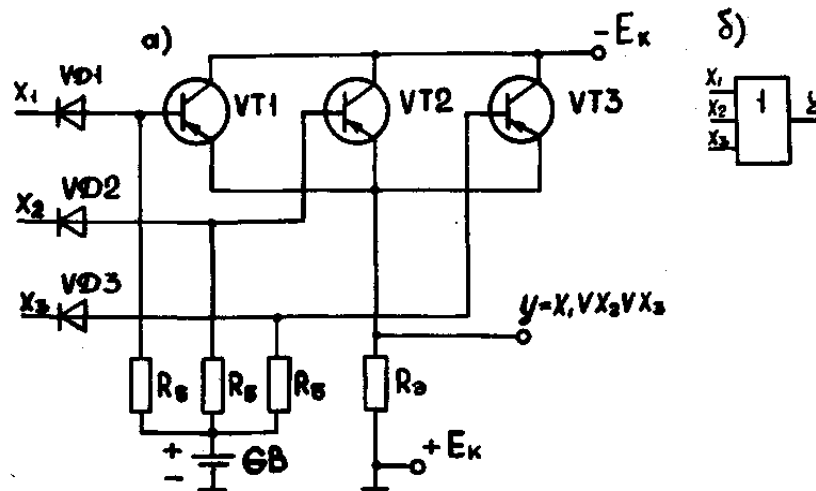


Рисунок. 6. Логический элемент ИЛИ:

а – схема; б – условное обозначение

Эту операцию, например, для трех сигналов записывают так:

$$y = x_1 \vee x_2 \vee x_3 = x_1 + x_2 + x_3,$$

что означает: сигнал на выходе появляется, если подан сигнал хотя бы на один из трех входов. Условное обозначение элемента ИЛИ показано на рис. 6,б. Логический элемент ИЛИ может осуществлять логическое сложение двух и более входных сигналов, т.е.

$$y = x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_n = x_1 + x_2 + \dots + x_n.$$

Логический элемент И (рис. 7). Напряжение на выходе схемы рис. 6,а появится только в том случае, если на все входы (x_1 и x_2) логического элемента поданы отрицательные сигналы. В исходном состоянии транзисторы VT1 и VT2 заперты положительным напряжением источника смещения E_{GB} . Если на одном входе сигнал отсутствует, то выходной сигнал также будет отсутствовать (будет заперт один из транзисторов). Элемент И выполняет логическое умножение. Для двух входов эту операцию записывают так:

$$y = x_1 \wedge x_2 = x_1 \cdot x_2.$$

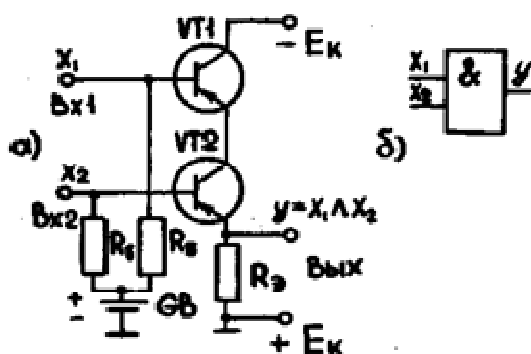


Рисунок 7. Логический элемент И:

а – схема; б – условное обозначение

Выходной сигнал y равен “1” при одновременном поступлении сигнала “1” на два входа.

Условное обозначение элемента И с двумя входами показано на рис. 7,б. Элементы И могут иметь два и более входов и один выход.

2.2. Понятие об интегральных микросхемах

Интегральная микросхема (ИМС) – микроэлектронное изделие, состоящее из множества связанных пассивных и активных элементов, объединенных в кристалле или на подложке, имеющих высокую плотность упаковки этих элементов, выполняющих определенную функцию преобразования и обработки сигналов.

Интеграция – это объединение множества элементов.

По технологии изготовления ИМС бывают:

- полупроводниковые;
- пленочные;
- гибридные (совмещенные).

Полупроводниковые – все элементы и межэлементные соединения (SiO_2 – пластины n - или p -типа) выполнены в объеме и на поверхности полупроводника. Имеют высокую степень интеграции $> 10^3$ эл./см³, высокую надежность,

Пленочные – все элементы и межэлементные соединения выполнены в виде пленок токопроводящих. Основой является подложка из сапфира, керамики или стекла, на которой формируются пассивные и активные элементы, изоляционные прослойки и соединительные проводники в виде тонких пленок. Имеют большой разброс параметров. Технология еще не отработана.

Совмещенные (гибридные) ИМС. Совмещают свойства полупроводниковых и пленочных ИМС. В объеме полупроводника создаются все активные элементы, а затем на поверхности формируются из пленок пассивные элементы и элементные соединения. В гибридных ИМС некоторые компоненты присоединяются извне, например C или L .

Основные элементы ИМС

Корпус – часть конструкции ИМС, которая защищает кристалл от внешнего воздействия и соединения с внешними цепями.

Подложка ИМС (плата) – заготовка для изготовления на ней элементов и соединений.

Простые и сложные ИМС

Характеризуются показателем, называемым степенью интеграции – количеством элементов на кристалле или в корпусе

$$k = \lg N .$$

где N – число элементов и компонентов

1 степень – до 10 элементов	малые ИМС
2 степень – до 100 элементов	малые ИМС
3 степень – 101-1000 элементов	средние ИМС
4-5 степень – 1001-10000 элементов	БКС
6 степень – > 10000 элементов	сверх БКС