

10.4. БАЗОВЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА БИПОЛЯРНЫХ СТРУКТУРАХ

В зависимости от компонентов, которые используются при построении ЛЭ, и способа соединения компонентов

в пределах одного ЛЭ различают следующие типы ЛЭ, или типы логик:

- диодно-транзисторная логика (ДТЛ);
- транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ);
- эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ);
- инжекционно-интегральная логика (И²Л, ИИЛ);
- логические элементы на МДП-транзисторах (КМДП).

Имеются и иные типы ЛЭ. Одни из них морально устарели и в настоящее время не применяются, другие находятся в стадии разработки.

Логические элементы ДТЛ. Логические элементы диодно-транзисторной логики представляют собой сочетание диодных логических ячеек с транзисторным инвертором. На рис. 10.11 приведена схема базового

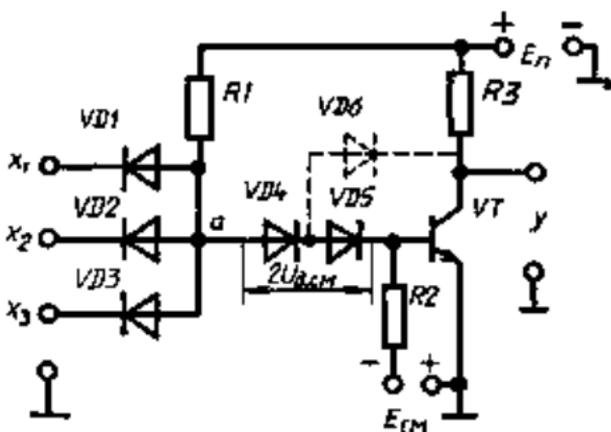


Рис. 10.11. Схема ЛЭ ЗИ — НЕ с простым инвертором (ДТЛ)

функционального элемента ДТЛ, выполняющего операцию И — НЕ.

Если хотя бы на один из входов x_1 , x_2 или x_3 поступает напряжение низкого уровня $U_{вх}^0$, принятое за 0, то подключенный к этому входу диод $VD1$, $VD2$ или $VD3$ открыт. Напряжение в точке \bar{a} оказывается равным сумме напряжений на открытом диоде $U_{д.от}$ и на входе $U_{вх}^0$, т. е.

$$U_{\bar{a}}^0 = U_{д.от} + U_{вх}^0.$$

Практически это напряжение составляет 1...1,2 В. При отсутствии диодов $VD4$ и $VD5$ данное напряжение прикладывается к базе транзистора VT и переводит его в открытое состояние. Включение между точкой a и базой транзистора диодов $VD4$ и $VD5$, называемых смещающими диодами, уменьшает напряжение базы на $2U_{д.см}$, где $U_{д.см} \approx (0,7...0,9)$ В — падение напряжения на диоде.

Поэтому результирующее напряжение базы при нулевом входном сигнале

$$U_B^0 = U_a^0 - 2U_{д.см}$$

оказывается отрицательным и транзистор VT закрыт. На выходе ЛЭ устанавливается высокий положительный потенциал, соответствующий логической единице.

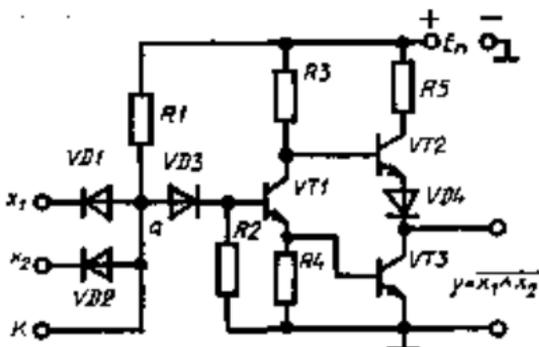
Если на все входы поступают напряжения высокого уровня, соответствующие логической единице, то диоды $VD1 - VD3$ закрыты. Весь ток, протекающий от источника E_n через резистор $R1$, поступает через смещающие диоды $VD4$ и $VD5$ в базу транзистора. Сопротивление резистора $R1$ выбрано таким, что транзистор открывается, переходит в режим насыщения и на его коллекторе (выходе ЛЭ) устанавливается низкий потенциал, соответствующий логическому нулю.

Таким образом, в данном ЛЭ реализуется логическая операция И — НЕ на три входа. Для увеличения быстродействия рассмотренный ЛЭ может быть дополнен диодом $VD6$, который существенно уменьшает степень насыщения транзистора.

В некоторых схемах И — НЕ ДТЛ источник $E_{см}$ отсутствует, а резистор $R2$ нижним (по схеме) выводом подключается к эмиттеру транзистора. В этом случае при поступлении хотя бы на один вход напряжения низкого уровня напряжение на его базе имеет не отрицательное, а небольшое положительное значение. Поэтому транзистор находится не в режиме отсечки, а в активном режиме при малом токе базы и коллектора.

Недостатком рассмотренного ЛЭ является большое выходное сопротивление в закрытом состоянии транзистора и как следствие этого — малая нагрузочная способность. Для повышения нагрузочной способности вместо простого инвертора применяют сложный.

Сложный инвертор (рис. 10.12) состоит из парафазного каскада, выполненного на транзисторе $VT1$, и двухтактного выходного каскада на транзисторах $VT2$ и $VT3$. Если на входы x_1 и x_2 поступают напряжения высокого уровня (логические единицы), то диоды $VD1$ и $VD2$ закрыты. Под действием тока базы, протекающего от источника питания через элементы $R1$ и $VD3$, транзистор $VT1$ открывается. На резисторе $R4$ ток эмиттера $VT1$ создает положительное напряжение, которое поступает на базу транзистора $VT3$. Транзистор $VT3$ открывается и переходит в режим насыщения. На выходе ЛЭ формируется



напряжение низкого уровня (логический нуль). Выходное сопротивление ЛЭ,

Рис. 10.12. Схема ЛЭ 2И — НЕ со сложным инвертором (ДТЛ-2) и возможностью расширения числа входов

определяемое внутренним сопротивлением насыщенного транзистора $VT3$, мало.

При поступлении хотя бы на один из входов x_1 и x_2 напряжения низкого уровня потенциал точки a мал. Ток базы транзистора $VT1$ также мал, и транзистор работает в режиме, близком к режиму отсечки. Примерно в таком же режиме находится и транзистор $VT3$, так как на его базу подается малое положительное напряжение с $R4$.

Напряжение высокого уровня с коллектора $VT1$ поступает на базу транзистора $VT2$, и он открывается. Ток, протекающий через $R5$, $VT2$, $VD4$ и нагрузку, подключенную к выходу ЛЭ, формирует на ней напряжение высокого уровня, соответствующее логической единице.

Диод $VD4$ повышает помехоустойчивость ЛЭ. Напряжение, создаваемое на $VD4$ током эмиттера транзистора $VT2$, находящегося в «призакрытом» состоянии, повышает потенциал эмиттера транзистора $VT2$, и для его отпира-ния на базу требуется подавать напряжение более высокого уровня. Таким образом, слабая помеха состояние ЛЭ не изменяет.

Вход K служит для расширения входов схемы И. К нему можно подключить дополнительную цепочку диодов.

Элементы ДТЛ, выпускаемые промышленностью, используются для комплектации серийной РЭА. В новых разработках они не применяются.

Логические элементы ТТЛ. Транзисторно-транзисторными называются такие логические элементы, во входной цепи которых используется многоэмиттерный транзистор (МЭТ). По принципу построения и работе схемы ТТЛ близки к схемам ДТЛ. Эмиттерные переходы МЭТ выполняют функцию входных диодов, а коллекторный переход — роль смещающего диода. Элементы ТТЛ компактнее, чем элементы ДТЛ, что повышает степень интеграции микросхем ТТЛ. Интегральные схемы на осно-

ве ТТЛ по сравнению с микросхемами ДТЛ имеют более высокие быстродействие, помехозащищенность и надежность, большую нагрузочную способность и меньшую потребляемую мощность.

На рис. 10.13, *a* показана схема ЗИ — НЕ ЛЭ ТТЛ с простым инвертором. Если на все входы МЭТ поданы напряжения $U_{вх}^1$, соответствующие уровню 1, то все эмиттерные переходы МЭТ $VT1$ смещены в обратном направлении, а коллекторный — в прямом. Коллекторный ток МЭТ протекает через базу транзистора $VT2$, который открывается и переходит в режим насыщения. На выходе ЛЭ устанавливается напряжение низкого уровня $U_{вх}^0$.

Если хотя бы на один вход МЭТ подано напряжение $U_{вх}^0$, соответствующее уровню 0, то соответствующий эмиттерный переход МЭТ смещается в прямом направлении. Эмиттерный ток этого перехода протекает через резистор $R1$, вследствие чего коллекторный ток МЭТ уменьшается и транзистор $VT2$ закрывается. На выходе ЛЭ устанавливается напряжение высокого уровня $U_{вх}^1$.

Для повышения быстродействия ЛЭ в него вводят нелинейную обратную связь, осуществляемую с помощью диода Шоттки (диод VD на рис. 10.13, *a*). Диод Шоттки

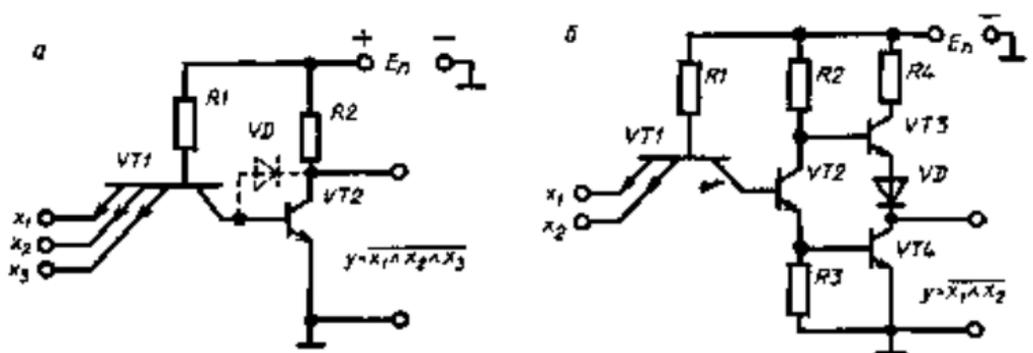


Рис. 10.13. Схемы логических И — НЕ ТТЛ с простым (*a*) и сложным (*б*) инверторами

VD с транзистором $VT2$ в интегральном исполнении составляет единую структуру, которую иногда называют транзистором Шоттки.

На рис. 10.13, *б* показана схема логического элемента 2И — НЕ ТТЛ со сложным инвертором. Работа такого инвертора была рассмотрена раньше.

Особенностью сложного инвертора является инерционность процесса переключения транзисторов $VT2$, $VT3$ и $VT4$. Поэтому быстродействие сложного инвертора хуже, чем простого. Для повышения быстродействия слож-

ного инвертора в него вводят дополнительный транзистор, который подключается параллельно эмиттерному переходу $VT4$.

В настоящее время выпускается несколько разновидностей серий микросхем с элементами ТТЛ: стандартные (серии 133; К155), высокого быстродействия (серии 130; К131), микромощные (серия 134), с диодами Шоттки (серии 530; К531) и микромощная с диодами Шоттки (серия К555). Они имеют большой процент выхода, низкую стоимость, обладают широким функциональным набором и удобны для практического использования.

Логические элементы ЭСЛ. Элементную базу эмиттерно-связанной логики составляют устройства на переключателях тока.

Простейшая схема переключателя тока показана на рис. 10.14, а. Суммарный ток транзисторов $VT1$ и $VT2$ за-

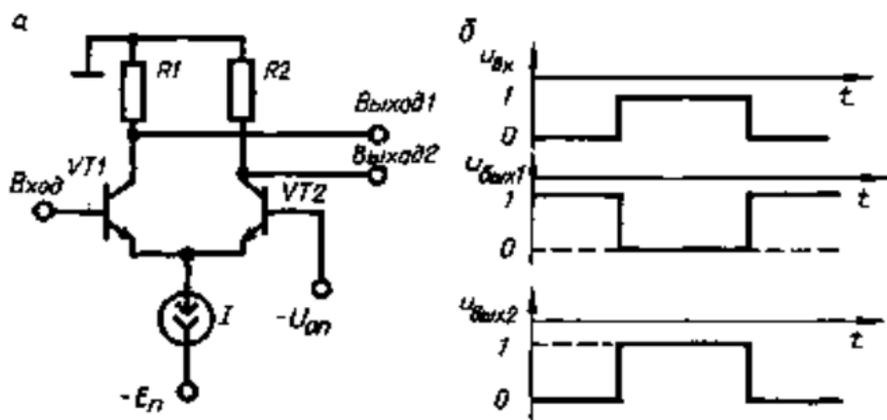


Рис. 10.14. Упрощенная схема переключателя тока (а) и графики напряжений (б), поясняющие его работу

дается генератором тока, включенным в цепь эмиттеров транзисторов. Если на вход (базу $VT1$) поступает напряжение низкого уровня $U_{вх}^0$ (логический 0), то транзистор $VT1$ закрыт и весь ток I протекает через транзистор $VT2$, на базу которого подается опорное напряжение $U_{он}$, превышающее нижний уровень напряжения базы $VT1$.

На коллекторе закрытого транзистора $VT1$ образуется напряжение высокого уровня (логическая 1), а на коллекторе открытого транзистора $VT2$ — напряжение низкого уровня (логический 0), как показано на рис. 10.14, б. Если $u_{вх} = U_{вх}^1$, то транзистор $VT1$ откроется. Так как $|U_{он}| < |U_{вх}^0|$, то транзистор $VT2$ окажется закрытым и весь ток I будет протекать через транзистор $VT1$. На

коллекторе $VT1$ образуется напряжение низкого уровня, а на коллекторе $VT2$ — высокого.

Параметры генератора тока таковы, что транзисторы $VT1$ и $VT2$ не переходят в режим насыщения. Этим достигается высокое быстродействие элементов ЭСЛ.

Принципиальная схема базового логического элемента ЭСЛ показана на рис. 10.15. Этот ЛЭ одновременно

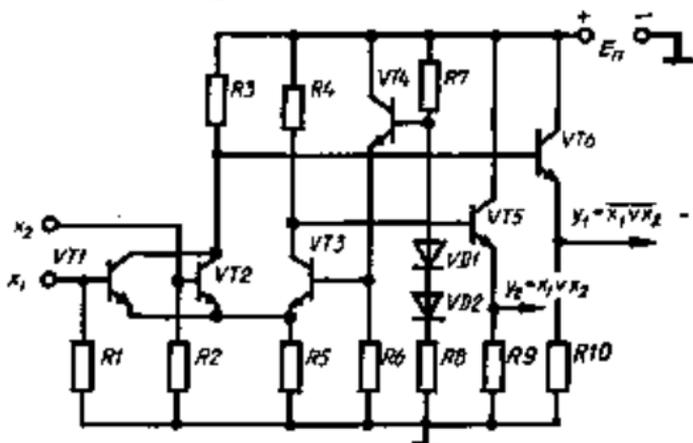


Рис. 10.15. Схема базового логического элемента ЭСЛ

выполняет две логические операции: ИЛИ — НЕ по выходу 1 и ИЛИ по выходу 2.

На транзисторах $VT1$, $VT2$ и $VT3$ выполнен токовый переключатель, обеспечивающий получение логических функций ИЛИ — НЕ (на коллекторе $VT2$) и ИЛИ (на коллекторе $VT3$). В качестве генератора тока используется высокоомный резистор $R5$, включенный в объединенную эмиттерную цепь транзисторов $VT1$, $VT2$ и $VT3$. Источник опорного напряжения выполнен на транзисторе $VT4$ и диодах $VD1$ и $VD2$. Опорное напряжение, уровень которого находится примерно посередине между уровнями, соответствующими 0 и 1, подается на базу транзистора $VT3$, поэтому транзистор $VT3$ будет закрыт, если хотя бы на один из входов подано напряжение более высокого уровня (логическая 1) и открыт, если на всех входах имеется напряжение низкого уровня (логический 0). Логическая информация с коллекторов $VT2$ и $VT3$ поступает на базы выходных эмиттерных повторителей, выполненных на транзисторах $VT5$ и $VT6$. Эмиттерные повторители служат для увеличения нагрузочной способности ЛЭ и смещения уровней выходных напряжений для совместности ЛЭ данной серии по входу и выходу.

Представителями ЛЭ ЭСЛ являются интегральные микросхемы 500-й серии.

Достоинством ЛЭ ЭСЛ является хорошо отлаженная технология их производства, обеспечивающая достаточно высокий процент выхода годных микросхем и их сравнительно низкую стоимость. Элементы ЭСЛ имеют более высокое быстродействие по сравнению с ЛЭ ТТЛ. Благодаря этому они получили широкое распространение в быстродействующей и высокопроизводительной вычислительной технике. Дифференциальные каскады ЛЭ ЭСЛ обеспечивают высокую помехоустойчивость, стабильность динамических параметров при изменении температуры и напряжения источников питания, постоянное, не зависящее от частоты переключения потребление тока.

Недостатком ЛЭ ЭСЛ является высокая потребляемая мощность.

Логические элементы И²Л. ЛЭ И²Л выполняются в виде цепочки транзисторов с инжекционным питанием (рис. 10.16, а). Отличительной особенностью таких тран-

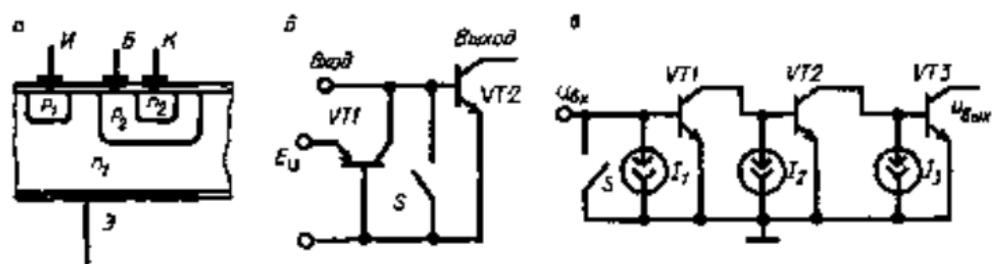


Рис. 10.16. Структура (а) и принципиальные схемы (б, в) инверторов с инжекционным питанием

зисторов по сравнению с БТ является наличие дополнительного электрода — инжектора И, образованного областью p_1 . В этой структуре можно выделить два транзистора: горизонтальный токозадающий ($p_1 - n_1 - p_2$) и вертикальный переключающий $n_2 - p_2 - n_1$, соединены так, как показано на рис. 10.16, б. Роль электронного ключа S обычно выполняет структура БТ, включенного с ОЭ и работающего в ключевом режиме.

Смещение инжекторного перехода в прямом направлении достигается подачей на инжектор p -типа положительного напряжения, равного $1 \dots 1,5$ В. С помощью электронного ключа S база транзистора VT2 может подключаться к эмиттеру этого транзистора или к генератору тока (коллектору 77). Если ключ разомкнут (при этом входное напряжение имеет высокий уровень), то почти весь ток генератора поступает в базу транзистора VT2. Транзистор открыт и насыщен, и его выходное напряже-

ние составляет единицы или десятки милливольт (при условии, что к коллектору подключена нагрузка). При замкнутом ключе 5 почти весь ток генератора тока течет через ключ и лишь незначительная его часть поступает в базу транзистора $VT2$. Транзистор находится в активном режиме вблизи области отсечки. Напряжение коллектора транзистора в этом режиме соответствует высокому уровню — примерно 0,8 В.

Таким образом, транзистор с инжекционным питанием можно рассматривать как инвертор или ЛЭ, выполняющий операцию НЕ.

Рассмотрим работу цепочки инверторов на транзисторах с инжекционным питанием (рис. 10.16, в).

При поступлении на вход напряжения высокого уровня, соответствующего логической 1 (ключ S разомкнут), ток I_1 генератора тока поступает в базу транзистора $VT1$ и переводит его в режим насыщения. Ввиду малого выходного сопротивления насыщенного транзистора $VT1$ ток I_2 второго генератора тока протекает через транзистор $VT1$ и лишь незначительная его часть — через базу транзистора $VT2$. Транзистор $VT2$ закрыт, его выходное сопротивление будет велико, и ток I_3 третьего генератора тока поступит в базу транзистора $VT3$, переводя его в режим насыщения. На выходе транзистора $VT3$ установится напряжение низкого уровня, соответствующее логическому 0.

На рис. 10.17 показана схема ЛЭ ИЛИ — НЕ на два входа. При поступлении логических нулей на оба входа транзисторы $VT1$ и $VT2$ закрыты и на выходе образуется логическая 1. Если хотя бы на один из входов поступает логическая 1, то соответствующий транзистор открыт и насыщен и на выходе, являющемся объединением всех коллекторов, устанавливается логический 0.

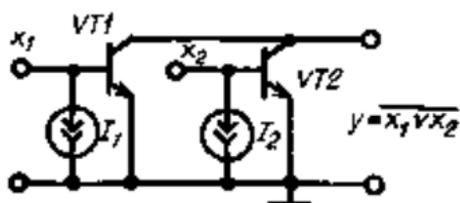


Рис. 10.17. Упрощенная схема ЛЭ 2ИЛИ — НЕ инжекционной логики

Достоинствами ЛЭ И²Л являются высокая степень интеграции, большое быстродействие, способность работать при очень малых токах (единицы наноампер) и малых значениях питающих напряжений.