

## Тема №4 "Транзисторно-транзисторные логические элементы"

*Схемы, назначение компонентов, принцип работы, определение потенциалов в различных точках схем.*

### Транзисторно-транзисторные логические элементы с простым инвертором

ЛЭ транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ) явились результатом усовершенствования элементов ДТЛ. Их отличительной особенностью является наличие многоэмиттерного транзистора (МЭТ), включенного во входной цепи. В отличие от одноэмиттерных многоэмиттерные  $n$ - $p$ - $n$  – транзисторы имеют в базовой области  $p$ -типа несколько эмиттерных областей  $n^+$ -типа. В элементах ТТЛ МЭТ включаются на входе и выполняют функцию диодной сборки (рис. 9,а), состоящей из  $(m+1)$ -го диодов, где  $m$  – число эмиттеров, равное числу входов. Таким образом, МЭТ можно представить в виде совокупности отдельных  $n$ - $p$ - $n$  – транзисторов, число которых равно числу эмиттеров (рис. 9,б). Все базовые области этих транзисторов соединены между собой и образуют базовый вывод МЭТ, а объединенные коллекторские области служат коллектором МЭТ. Условное графическое обозначение (УГО) четырехэмиттерного МЭТ показано на рис. 10,в.

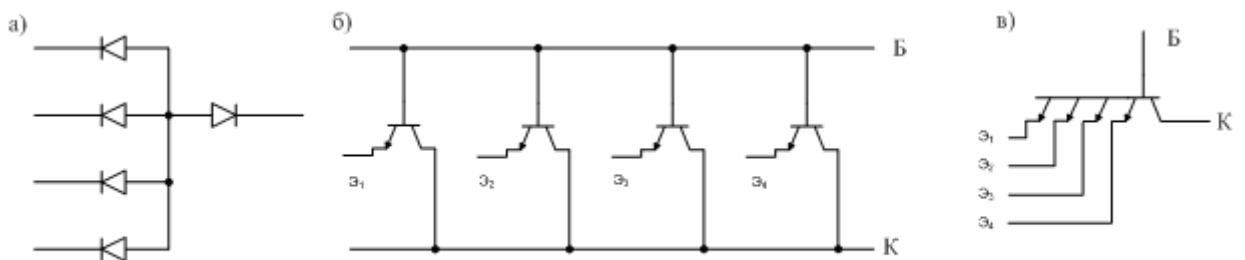


Рис. 1.

Электронно-дырочный переход (ЭДП), образованный базовой и коллекторной областями МЭТ, можно использовать в качестве одного из диодов смещения, применяемых в ЛЭ ДТЛ с простым инвертором. При этом

схема ЛЭ 2И-НЕ имеет вид рис. 11,а. Если допустить снижение помехоустойчивости, то можно исключить и второй диод смещения (рис. 11,б).

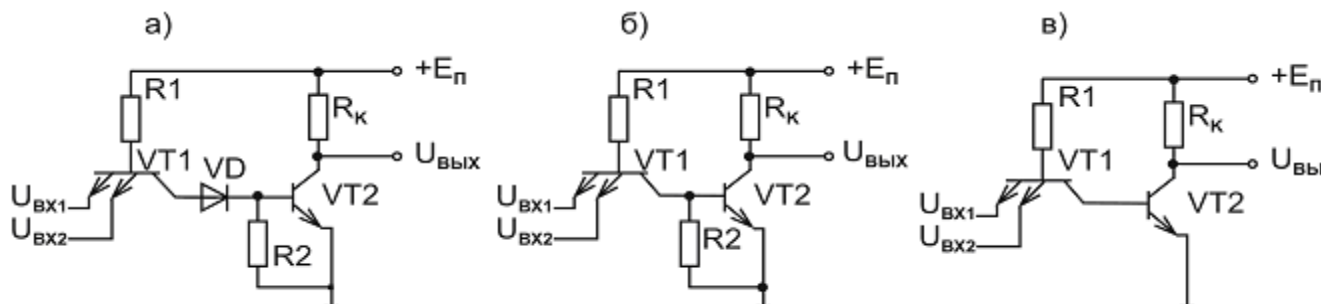


Рис. 2.

При подаче хотя бы на один из входов полученного таким образом ЛЭ ТТЛ напряжения низкого уровня  $U^0$  соответствующий ему эмиттерный переход (или оба) открыт (смещен в прямом направлении). Если бы коллекторный переход МЭТ имел обратное смещение, что соответствовало бы нормальному активному режиму работы транзистора  $VT_1$ , то в коллекторной цепи МЭТ протекал бы коллекторный ток. Однако этого произойти не может, поскольку направление этого тока совпадает с направлением обратного тока базы транзистора  $VT_2$ , не превышающего значения  $I_{КБ0}$ . Следовательно, при открытом хотя бы одном эмиттерном переходе МЭТ его коллекторный переход также открыт и МЭТ оказывается в режиме насыщения при нулевом токе коллектора, благодаря чему транзистор  $VT_2$  находится в режиме отсечки, т.е. надежно закрыт и  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}^1 \approx +E_{\text{п}}$ .

Если на оба входа элемента (см. рис. 11,б) поданы напряжения высокого уровня  $U^1$ , то оба эмиттерных перехода МЭТ закрываются, а ток базы МЭТ через открытый коллекторный переход втекает в базу транзистора  $VT_2$ . МЭТ переходит в активный инверсный режим работы, а транзистор  $VT_2$  – в режим насыщения, который обеспечивается выбором нужных значений сопротивлений резисторов  $R_1$  и  $R_{\text{к}}$ . На выходе элемента формируется напряжение низкого уровня  $U_{\text{вых}} = U^0 = U_{\text{КЭнас2}} \approx 0,1 \dots 0,3 \text{ В}$ .

ЛЭ ТТЛ с простым инвертором целесообразно использовать в тех случаях, когда не требуется высокая помехоустойчивость и повышенная нагрузочная способность.

### Транзисторно-транзисторные логические элементы со сложным инвертором

Из-за недостатков, присущих простому инвертору, большинство ЛЭ ТТЛ малой и средней степени интеграции строятся по схеме со сложным инвертором. Схема, показанная на рис. 12,а, состоит из входной части, реализующей логическую функцию 2И и выполненной на элементах  $VT_1$  (МЭТ) и резисторе  $R1$ , и сложного инвертора ( $VT_2 \dots VT_4$ ,  $R2$ ,  $R4$ ). Диоды  $VD_1$  и  $VD_2$  называются демпфирующими или антизвонными. Они заперты для входных сигналов положительной полярности и открываются только при поступлении на входы отрицательных напряжений, ограничивая уровень отрицательных помех до уровня падения напряжения на открытом диоде, предотвращая тем самым ложное срабатывание ЛЭ.

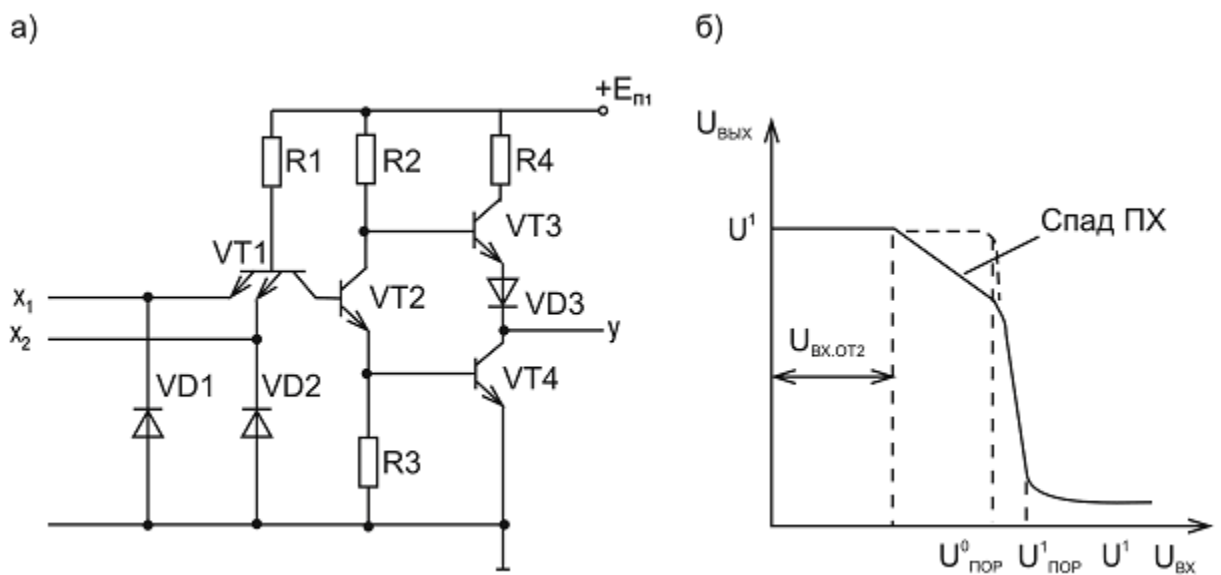


Рис. 3.

Рассмотрим передаточную характеристику (ПХ) ЛЭ, показанную на рис. 12,б. На один из входов (например  $x_2$ ) подадим напряжение высокого уровня  $U^1$ , а на втором ( $x_1$ ) будем плавно изменять напряжение  $U_{вх}$  от 0 до  $U^1$ . При  $U_{вх} = 0$  транзисторы  $VT_2$  и  $VT_4$  закрыты, а  $VT_3$  и  $VD_3$  открыты и

$$U_{\text{вых}}^1 = E_{\text{п}} - I_{\text{Бз}} R_2 - U_{\text{БЭо3}} - U_{\text{До3}}.$$

При повышении напряжении  $U_{\text{вх}}$  до значения  $U_{\text{вх.от2}} (\approx 0,6 \text{ В})$  эмиттерный переход  $VT_2$  окажется на грани отпирания:

$$U_{\text{БЭ2}} = U_{\text{вх.от2}} + U_{\text{КЭнас1}} \approx U_{\text{БЭз}}.$$

При дальнейшем увеличении входного напряжения транзистор  $VT_2$  открывается, и его коллекторный  $I_{\text{К2}}$  и эмиттерный  $I_{\text{Э2}}$  токи увеличиваются с ростом  $U_{\text{вх}}$ . Пока напряжение  $U_{\text{Р3}} = I_{\text{Э2}} R_3 < U_{\text{БЭз4}} \approx 0,6 \text{ В}$ , транзистор  $VT_4$  остается закрытым. В то же время увеличивающийся коллекторный ток  $I_{\text{К2}}$  вызывает рост напряжения на резисторе  $R_2$ , что вызывает снижение высокого уровня выходного напряжения. На ПХ образуется спад.

Когда напряжение  $U_{\text{вх}}$  достигнет значения  $U_{\text{пор}}^0$ , начинает отпираться транзистор  $VT_4$ , крутизна спада выходного напряжения резко увеличивается и ЛЭ переключается из состояния 1 в состояние 0. При  $U_{\text{вх}} = U_{\text{пор}}^1$  транзистор  $VT_4$  переходит в режим насыщения, а  $VT_1$  – в активный инверсный режим работы.

Недостатком ЛЭ, схема которого дана на рис. 12,а, является его низкая помехоустойчивость. Любая помеха напряжением от  $U_{\text{вх.от2}}$  до  $U_{\text{пор}}^0$ , накладываемая на входное напряжение  $U_{\text{вх}}^0$ , наложится и на выходное напряжение  $U_{\text{вых}}^1$  в инвертированном виде с коэффициентом передачи  $K_{\text{п}} = R_2/R_3$ . Поэтому в более поздних разработках ЛЭ ТТЛ резистор  $R_3$  заменен цепочкой, состоящей из элементов  $VT_5, R_3', R_3''$  (рис. 13).

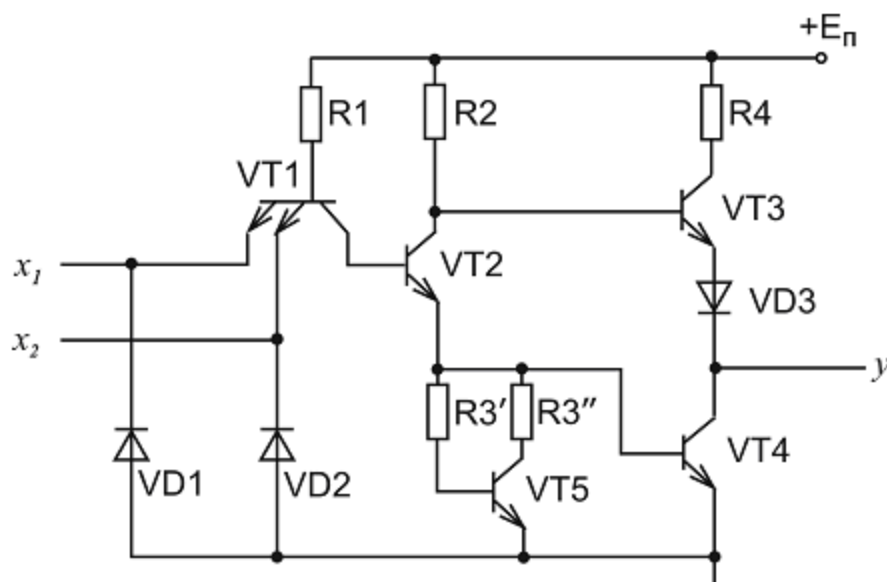


Рис. 4.

Принцип действия этой цепочки заключается в следующем. При закрытых транзисторах  $VT_2$  и  $VT_4$  транзистор  $VT_5$  также закрыт, и эмиттерный переход  $VT_4$  шунтируется большим суммарным сопротивлением корректирующей цепочки  $VT_5$ ,  $R_3'$ ,  $R_3''$ . Таким образом, последовательно с эмиттерным переходом транзистора  $VT_2$  оказывается включен эмиттерный переход транзистора  $VT_4$ , шунтируемый значительно большим суммарным сопротивлением корректирующей цепочки. Отпирание транзистора  $VT_2$  в такой схеме возможно лишь в том случае, если потенциал базы  $VT_2$  превысит значение, превышающее сумму двух пороговых напряжений отпирания транзисторов ( $\approx 1,2$  В). При отпирании транзистора  $VT_2$  большая часть его эмиттерного тока будет втекать в базу транзистора  $VT_4$ , форсируя его отпирание и переход в режим насыщения, после чего в режим насыщения перейдет и транзистор  $VT_5$ .

Помимо коррекции ПХ (устранение спада) корректирующая цепочка  $VT_5$ ,  $R_3'$ ,  $R_3''$ , отбирая часть эмиттерного тока транзистора  $VT_2$ , уменьшает степень насыщения транзистора  $VT_4$ , повышая тем самым быстродействие ЛЭ.

Нагрузочная способность ЛЭ ТТЛ зависит от входных токов нагрузочных элементов. Если в качестве нагрузки используются такие же ЛЭ

ТТЛ, то нагрузочная способность будет зависеть от токов эмиттеров МЭТ. Эти токи определяются сопротивлением резистора  $R_1$ : чем больше  $R_1$ , тем меньше токи  $I_Э$  МЭТ и тем выше нагрузочная способность. Но от  $R_1$  зависят также и токи баз транзисторов  $VT_2$  и  $VT_4$  нагружаемого ЛЭ: с увеличением сопротивления  $R_1$  они уменьшаются, что вызывает в конечном итоге уменьшение эмиттерного тока  $VT_4$  и, следовательно, уменьшение  $K_{раз}$ .

Током базы  $VT_4$  является эмиттерный ток транзистора  $VT_2$ , поэтому в ЛЭ со сложным инвертором сопротивление резистора  $R_1$  можно сделать значительно больше по сравнению с его значением в ЛЭ с простым инвертором, что приводит к уменьшению входных токов. Повышенная нагрузочная способность ЛЭ со сложным инвертором обусловлена также низким выходным сопротивлением схемы как в режиме логического нуля, так и в режиме логической единицы: малым выходным сопротивлением насыщенного транзистора  $VT_4$  (при закрытом  $VT_3$ ) и малым выходным сопротивлением эмиттерного повторителя (при закрытом  $VT_4$ ).

### **Транзисторно-транзисторные логические элементы с диодами Шоттки**

К настоящему времени разработано большое количество модификаций ЛЭ ТТЛ, связанных с повышением нагрузочной способности, уменьшением задержек распространения сигналов, обеспечением возможности объединения выходов ЛЭ, уменьшением потребляемой мощности, расширением выполняемых функций, увеличением помехоустойчивости и т. п.

В ЛЭ ТТЛ большинство транзисторов (особенно  $VT_2$  и  $VT_4$ ) при переключениях вводятся в режим глубокого насыщения, что приводит к увеличению времени задержки (т.е. снижению быстродействия) за счет времени рассасывания неосновных носителей и к завышенной потребляемой мощности. Применение вместо обычных диодов и транзисторов диодов и транзисторов Шоттки (ЛЭ ТТЛШ) исключает насыщение транзисторов и позволяет сократить время задержки распространения сигнала до 3...5 нс.

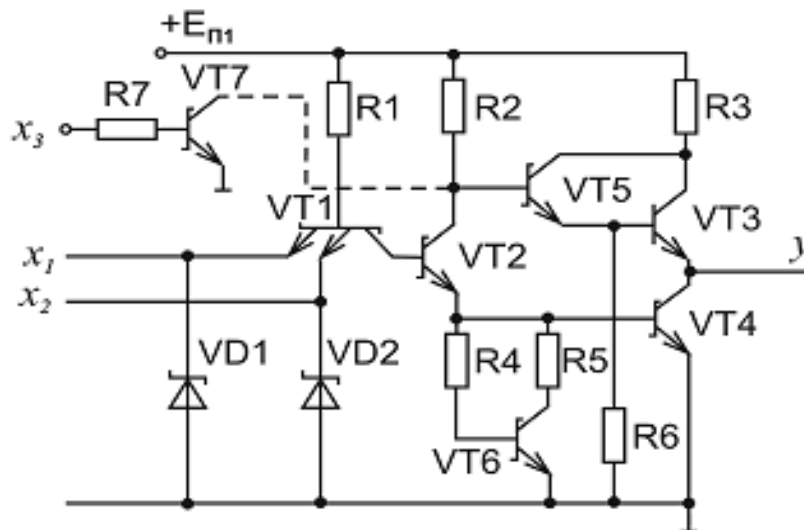


Рис. 5.

Электрическая схема и принцип работы ЛЭ ТТЛШ, приведенного на рис. 14, аналогичны ТТЛ-элементу показанному на рис. 13. Инвертор на транзисторе  $VT_7$  позволяет перевести ЛЭ в высокоимпедансное состояние при подаче на вход  $x_3$  напряжения высокого уровня. При этом транзистор  $VT_7$  входит в режим насыщения, а потенциал коллектора  $VT_2$  снижается до уровня  $U_{K2} = U_{KЭ_{нас}} \approx 0,2B$ , в результате чего транзисторы  $VT_5$  и  $VT_3$  оказываются запертыми. Транзистор  $VT_4$  также будет закрыт, поскольку даже в случае  $x_1 = x_2 = U^1$  коллекторный ток транзистора  $VT_1$  будет протекать не через эмиттерный, а через коллекторный переход транзистора  $VT_2$  и насыщенный транзистор  $VT_7$ .

В приведенной схеме только транзистор  $VT_3$  формируется без барьера Шоттки, т.к. он не работает в режиме насыщения. Это обеспечивается введением в выходной каскад резистора  $R_6$ , через который отводится часть эмиттерного тока транзистора  $VT_5$ .

Использование барьера Шоттки в многоэмиттерном транзисторе  $VT_1$  способствует уменьшению инверсного коэффициента передачи тока базы  $\beta_i$  и, следовательно, эмиттерных токов МЭТ при его работе в активном инверсном режиме, что приводит к увеличению нагрузочной способности элемента в состоянии «выключено» ( $U_{вых} = U^1$ ).