

Схемотехника

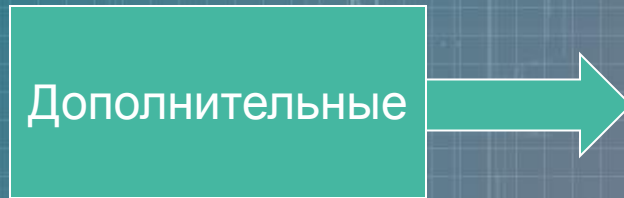
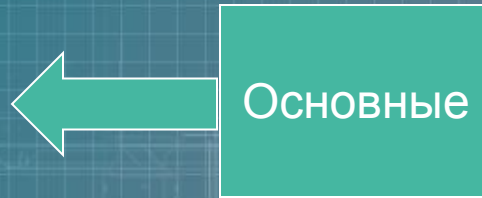
■ Кафедра ВТ , ВлГУ , Туляков В.С.

Литература

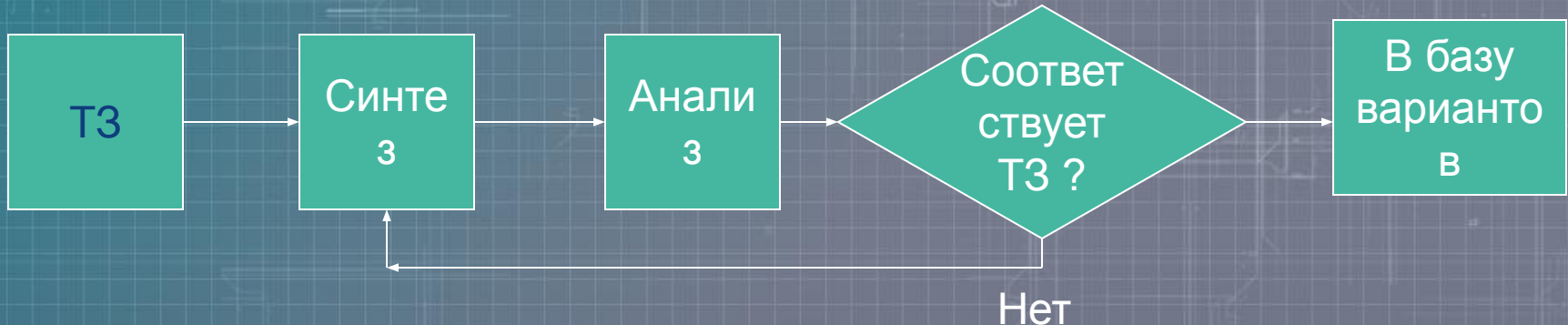
- 1. Угрюмов Е.П.
- Цифровая схемотехника: учеб. Пособие для вузов.- 3 – е издание., перераб. и доп.- СПб.: БХВ – Петербург, 2010.- 816 с.: ил.
- 2. Хоровец П., Хилл У.
- Искусство схемотехники: Пер. с англ.- Изд.7-е.- М.: Мир, Бином, 2011.-704 с.,ил.
- Амелина М.А., Амелин С.А.
- Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap8.- М.: Горячая линия – Телеком, 2007 – 464 с.,ил.
- Медведев Б.Л., Пирогов Л.Г.
- Практическое пособие по цифровой схемотехнике – М.: Мир, 2004.- 408 с., ил.

Основные задачи схемотехники

- Синтез схем
- Анализ схем



Подавление помех.
Передача данных по линиям связи.
Обеспечение режимов работы элементов.
Синхронизация и тактирование
Генерация сигналов.



Базовые функциональные блоки

**База для
разработки
цифровых
устройств**

Преобразователи сигналов

Генераторы и формирователи

Интерфейсные схемы

Запоминающие устройства

Последовательностные схемы

Комбинационные схемы

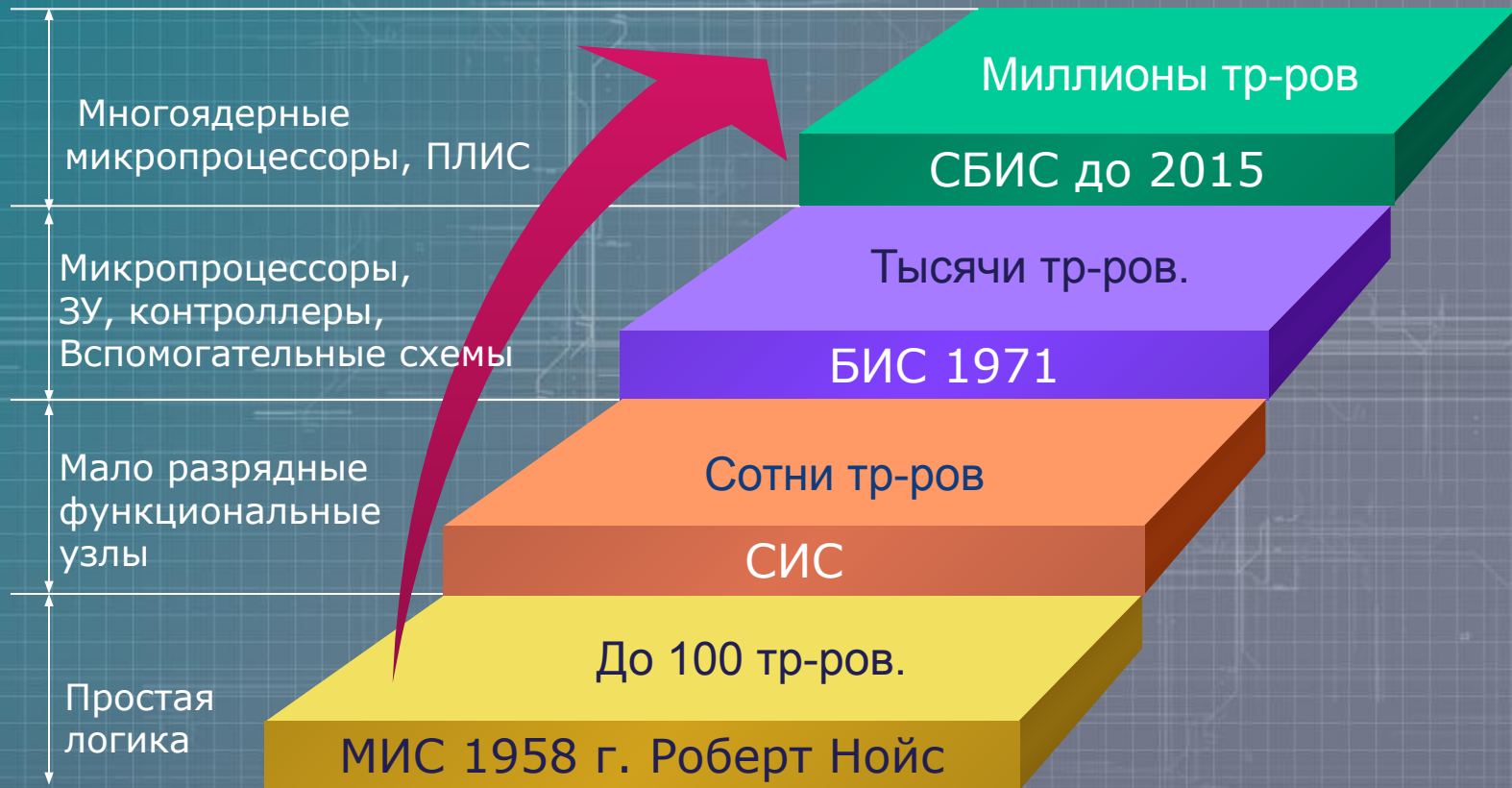
Триггеры

Базовые логические элементы

Транзистор

По уровню интеграции ИС

Закон Мура – удвоение количества транзисторов на кристалле каждые 18 месяцев



По массовости изготовления

Серийные

Массовое производство, приборы конечного пользования, низкая стоимость

Заказные

Высокая стоимость разработки – от одного до десятков миллионов долларов. Нерентабельно для массового использования.

Полу заказные

ПЛМ, БМК программируемые изготовителем, ПЛИС

Большинство современных ИС изготавливается по технологии КМОП, ТТЛШ.

Лекция 1

- Схемотехнические основы построения цифровых устройств

Условное обозначение ЛЭ

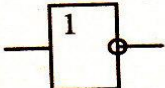
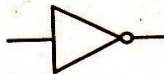
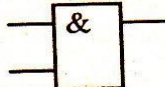
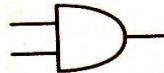
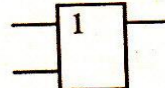
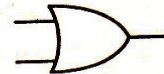
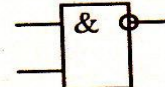
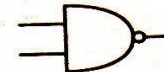
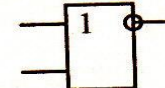
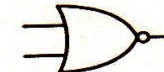
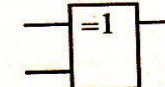

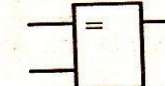
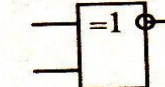



И, ИЛИ, НЕ – базис элементов нагляден для восприятия

И-НЕ - функция Шефера
ИЛИ-НЕ - функция Пирса

Основные рабочие базисы

Обозначения логических элементов

Логическая функция	Отечественное	Зарубежное
НЕ		
И		
ИЛИ		
И-НЕ		
ИЛИ-НЕ		
Сложение по модулю 2 (Исключающее ИЛИ)		
Эквивалентность (Исключающее ИЛИ-НЕ)	 	

Сигналы отображающие логические переменные

БИТ	1	0
-----	---	---

U_1	U_0
-------	-------

H (High)	L (Low)
----------	---------

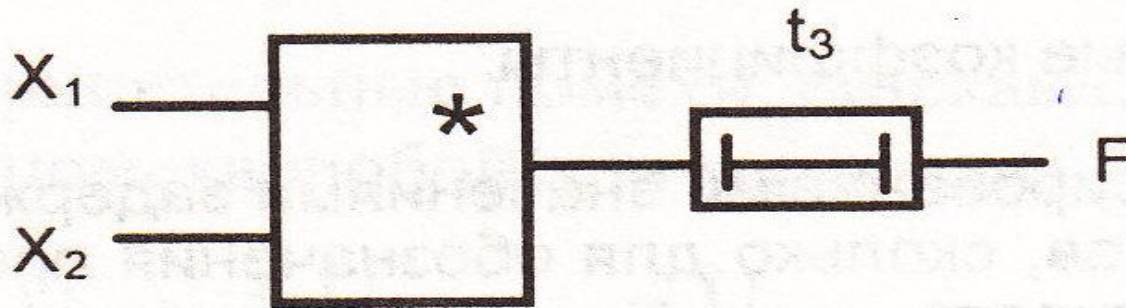
Положительная логика

При переходе от логических сигналов к электрическим необходимо установить правила соответствия:

- положительной логики;
- отрицательной логики

Учет задержек в логических схемах

- Быстродействие в ЛЭ напрямую связана с задержкой сигналов ЛЭ и связях между ними. Особенно это проявляется с уменьшением технологических норм. 70-80% от общей задержки - это задержки в ЛЭ и в линиях связи.



1. $t_3 = \text{const}$,
2. $t_3 = f(C_L, t_{\text{вх}}, U_{\text{сс}} \text{ и т. д.})$

Существуют грубые оценки задержки, и точные расчеты.

Статические параметры ЛЭ

- Напряжение питания U_{cc} С определенным допуском

Четыре значения напряжений, задающих границы зон переменных 0 или 1

$$U_{вх\ 0\ max}$$

$$U_{вх\ 1\ min}$$



На входе ЛЭ

$$U_{вых\ 1\ min}$$

$$U_{вых\ 0\ max}$$



На выходе ЛЭ

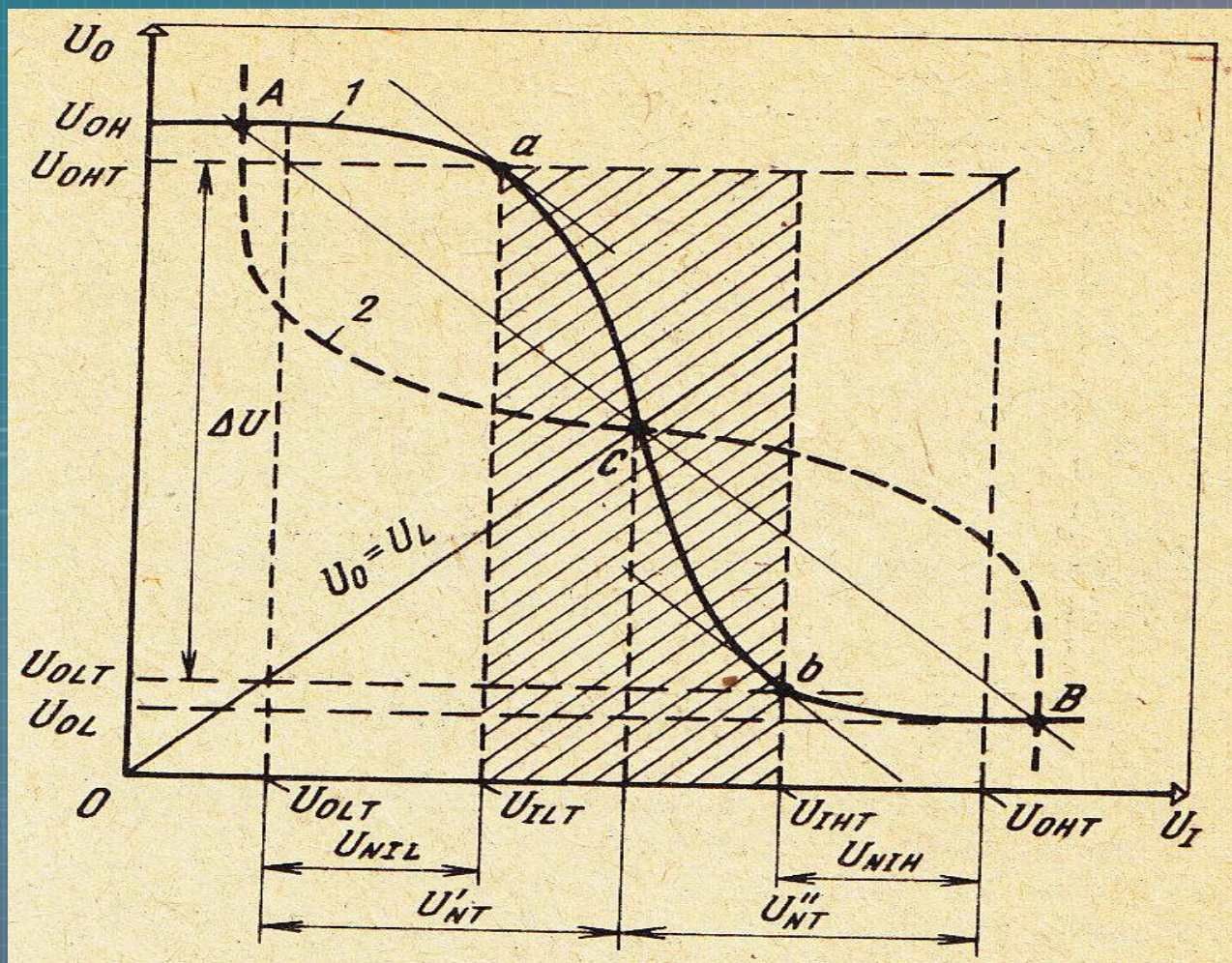
Статическая помехоустойчивость:

- Для уровня логической единицы допустимая
- Для уровня логического нуля допустимая

$$U_{\Pi}^{-} = U_{вых\ 1\ min} - U_{вх\ 1\ min}$$

$$U_{\Pi}^{+} = U_{вых\ 0\ max} - U_{вх\ 0\ max}$$

Передаточная характеристика ЛЭ



Токовые статические параметры ЛЭ

- Ток потребляемый по входу при $v_x=1$
- Ток потребляемый по входу при $v_x=0$
- Ток потребляемый по выходу при $v_x=1$
- Ток потребляемый по выходу при $v_x=0$

Например: для КМОП ЛЭ ток вых.1 = току вых.0
для ТТЛШ ЛЭ ток вых.1 в 20 раз меньше тока вых.0

Нагрузочная способность ЛЭ

- Это количество ЛЭ, которые можно подключить одному выходу ЛЭ.
- Иногда применяют термин:
- Разветвление по выходу
- Объединение по входу

Быстродействие цифровых схем

- Скорость перехода из одного состояния в другое. Определяется задержками в элементе и цепях соединения.

Коэффициент определяется серией микросхемы

$$t_3 = t_{3H} + K \times \Delta C$$

$$\Delta C = C - C_L$$

Фактическая

Номинальная по справ.

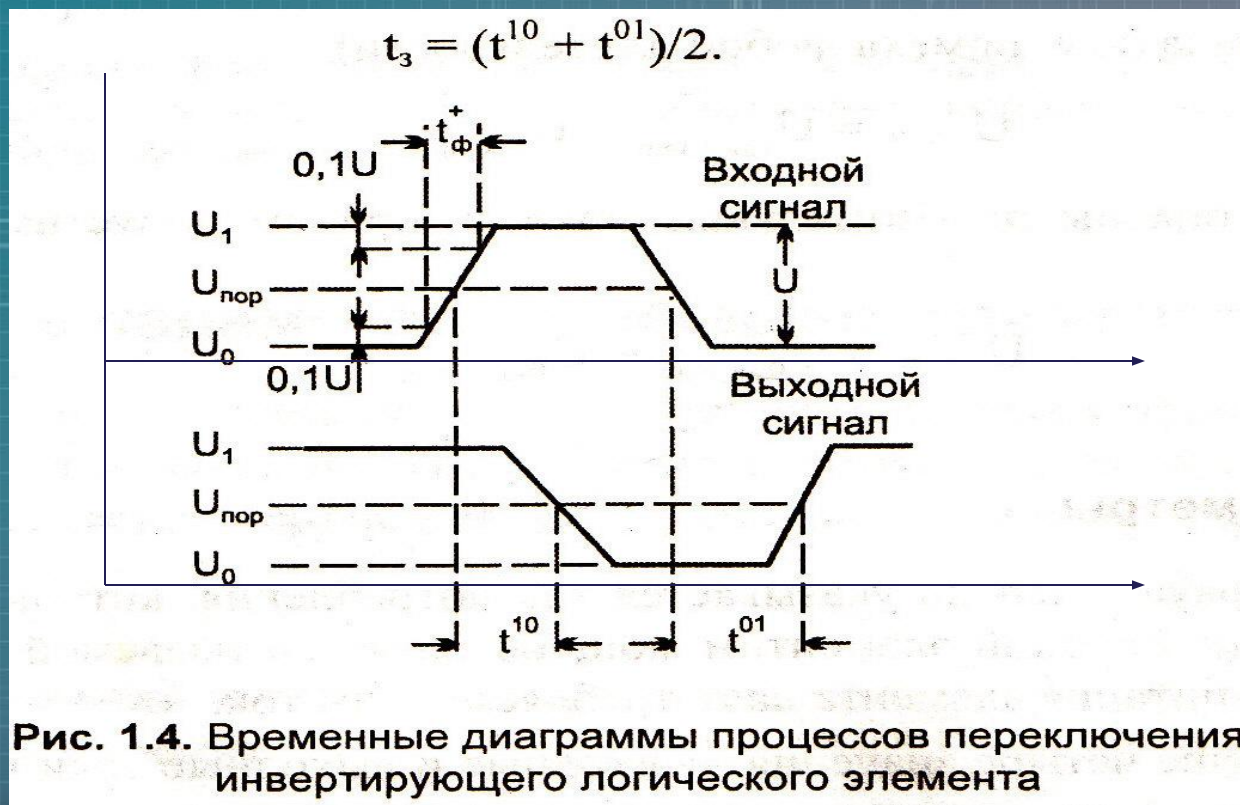


Рис. 1.4. Временные диаграммы процессов переключения инвертирующего логического элемента

Мощность потребления ЛЭ

- В справочниках обычно указывается значение тока потребляемого микросхемой – $I_{\text{потр.}} * U_{\text{пит.}} = P$

Мощность ЛЭ делят на статическую и динамическую

$P_{\text{ст.}}$ – мощность потребляемая в пассивном состоянии.

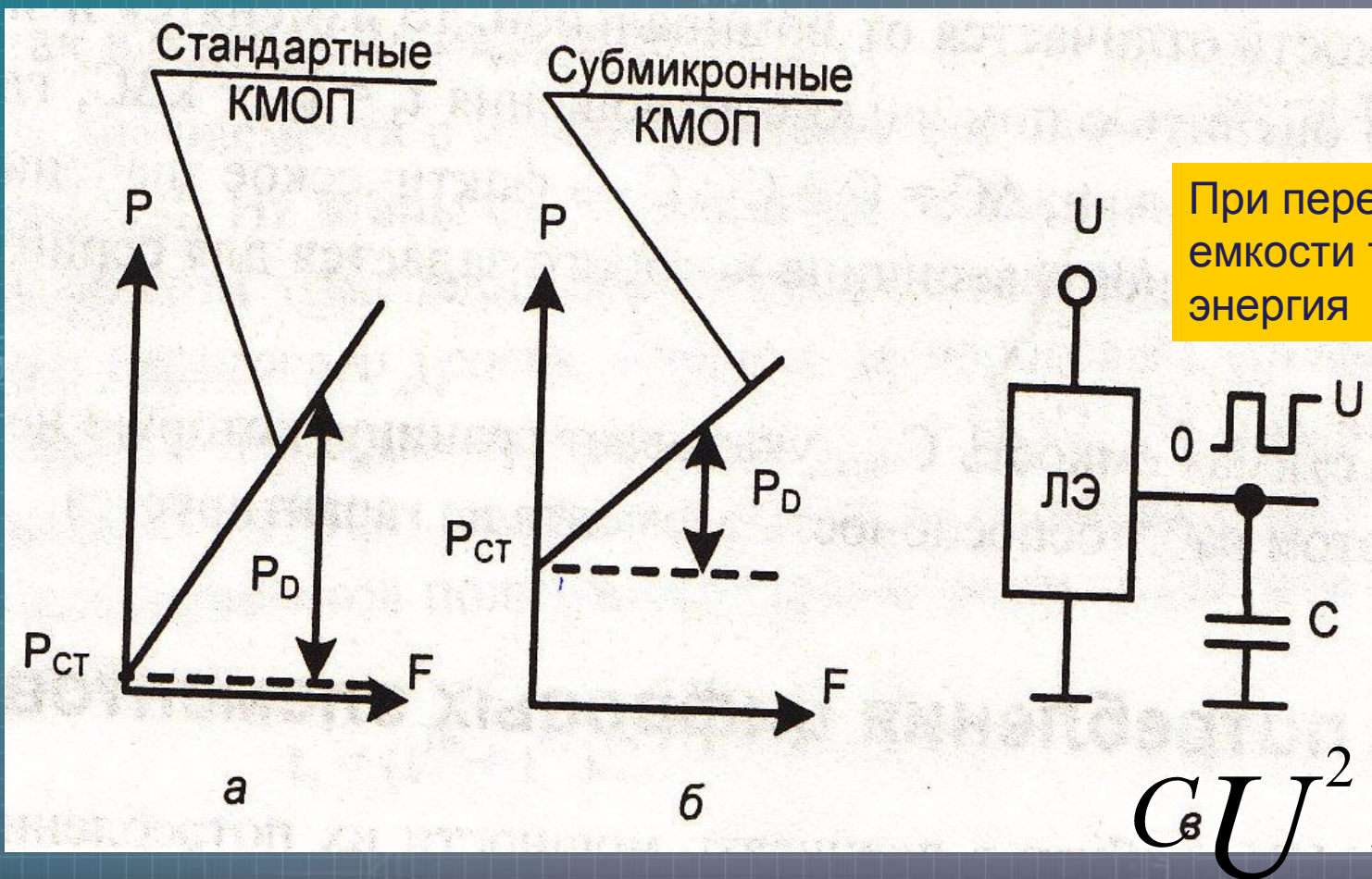
$P_{\text{дин.}}$ – мощность потребляемая при переключении.

$P_{\text{ст.}}$ делится на $P_{\text{ст. 0}}$ и $P_{\text{ст. 1}}$ $P_{\text{ст.}}$
и рассчитывается $P_{\text{ст.}} = (P_{\text{ст.0}} + P_{\text{ст.1}})/2$

$$P = P_{\text{ст.}} + P_{\text{дин.}}$$

Мощность потребления ЛЭ при нанометровых технологиях

Статическая мощность соизмерима с динамической



Формула оценки динамической мощности

Перепад логического уровня

Частота сигналов на входе и выходе

$$P_d = U^2 (C_{pd} \times F_1 + N \times C_l F_0)$$

Внутренняя емкость схемы

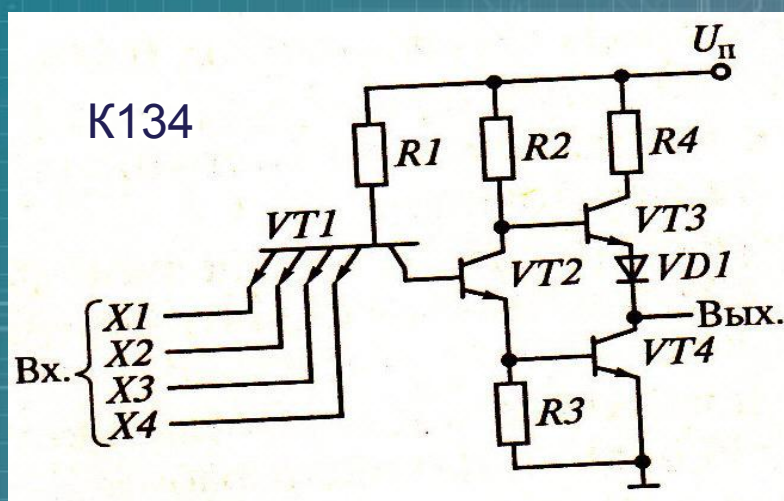
Емкость нагрузки

Число переключаемых выходов

Параметры ЛЭ ТТЛ в справочнике

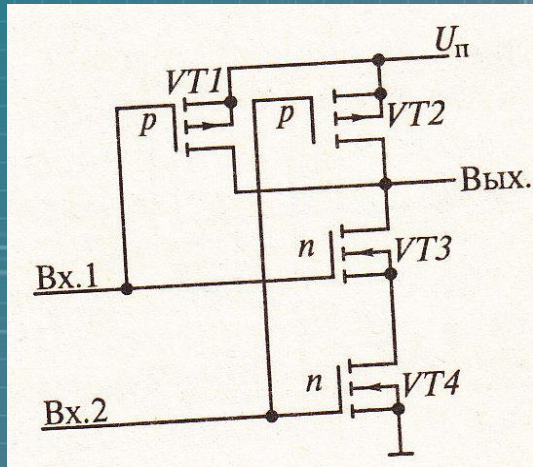
Режим	Серия						
	К130 К131	К133 К155	К134	К530 К531	К533 К555	КР1531	КР1533
$U_{п\ max}, В$	6	6	6	5,5	6	6	6
$U_{вх\ max}, В$	5,5	5,5	5,5	5	5,5	5,5	6
$U_{вх\ min}, В$	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5
$C_{н\ max}, ПФ$	200	200	200	150	150	150	200

Параметры ЛЭ ТТЛ



Параметр	K130 K131	K133 K155	K134	K530 K531	K533 K555	KP1531	KP1533
$I_{\text{вх}}^0$, мА, не более	$\begin{vmatrix} -2,3 \\ -2,0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} -1,6 \\ -2,0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} -0,18 \\ -2,0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} -0,2 \\ -2,0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} -0,4 \\ -2,0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} -0,6 \\ -2,0 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} -0,1 \\ -2,0 \end{vmatrix}$
$I_{\text{вх}}^1$, мА, не более	0,07 0,05	0,04	0,012	0,05	0,02	0,02	0,02
$U_{\text{вых макс}}^0$, В, не более	0,35 0,4	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
$U_{\text{вых мин}}^1$, В, не менее	2,4	2,4	2,3	2,7	2,7	2,7	2,5
$I_{\text{пот}}^0$, мА, не более	11 10	6	0,61	10 9	2,2	2,6	0,75
$I_{\text{пот}}^1$, мА, не более	5 4,2	2	0,19	5 4	0,8	0,7	0,21
$K_{\text{раз}}$ не более	10	10	10	10	10	20	30
$K_{\text{об}}$ не более	8	8	8	8	8	8	8
$t_{\text{зд.р}}^{1,0}$ (при $C_{\text{н}}$), нс, не более	10 (30 пФ)	15 (15 пФ)	85 (40 пФ)	5 (15 пФ)	20 (15 пФ)	3,8 (15 пФ)	10 (50 пФ)
$t_{\text{зд.р}}^{0,1}$ (при $C_{\text{н}}$), нс, не более	12 (30 пФ)	22 (15 пФ)	45 (40 пФ)	4,5 (15 пФ)	20 (15 пФ)	3,9 (15 пФ)	11 (50 пФ)
$U_{\text{пом}}$, В, не менее	0,4	0,4	0,35	0,5	0,7	0,8	0,8
$f_{\text{т}}$, МГц, не более	60	20	6	100	30	500	200

Параметры ЛЭ КМОП



Параметр	Серия				
	K176	K561	K564	KP1561	KP1564
$\Delta t^0, ^\circ\text{C}$	-40...+70	-45...+85	-60...+125	-45...+85	-45...+85
$U_{\text{п}}, \text{В}$	$9 \pm 5\%$	3...15	$10 \pm 10\%$	3...15	2...6
$I_{\text{вх}}^0, \text{мкА}$	$\leq 1,0$	$\leq 1,0$ (8, 11)	$\leq -0, 5 $	$\leq -0, 3 $ (9)	$\leq 0,1$ (4)
$I_{\text{вх}}^1, \text{мкА}$	$\leq 1,0$	$\leq 1,0$ (8, 11)	$\leq 1,0$	$\leq 0,3$ (9)	$\leq 0,1$ (4)
$U_{\text{вых}}^0, \text{В}$	$\leq 0,03$ (7, 12)	$\leq 0,01$ (3, 11)	$\leq 0,3$ (8)	$\leq 0,05$ (3, 18) $\leq 0,5$ (3, 17) ≤ 1 (8, 19)	$\leq 0,26$ (2, 14)
$U_{\text{вых}}^1, \text{В}$	$\geq 8,2$ (5, 12)	$\geq 4,95$ (3, 11) $\geq 9,95$ (8, 11)	$\geq 9,7$ (8)	$\geq 4,95$ (3, 20) ≥ 9 (8, 21)	$\geq 3,98$ (2, 15)
$I_{\text{п}}, \text{мкА}$	≤ 3 (6)	$\leq 0,5$ (3, 10) ≤ 30 (8, 11)	≤ 6	≤ 1 (3) ≤ 4 (9)	≤ 2 (4)
$I_{\text{вых}}^0, \text{мА}$		$\geq 0,3$ (3, 25) $\geq 0,6$ (8, 25)		$\geq 0,44$ (3, 24) $\geq 1,1$ (8, 25) ≥ 3 (9, 26)	≥ 4 (2, 10, 23)
$I_{\text{вых}}^1, \text{мА}$		$\geq 0,21$ (3, 10, 28) $\geq 0,45$ (8, 10, 28)		$\geq 0,44$ (3, 28) $\geq 1,1$ (8, 29) $\geq 3,3$ (9, 30)	≥ 4 (2, 10, 27)
$K_{\text{раз}}$	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50
$t_{\text{зд. р.}}^{1,0}, \text{нс}$	≤ 200 (10, 13)	≤ 180 (3, 10, 13) ≤ 115 (8, 10, 13)	≤ 110 (10, 13)	≤ 250 (3, 13) ≤ 120 (8, 13) ≤ 90 (9, 13)	≤ 90 (1, 10, 13) ≤ 18 (2, 10, 13) ≤ 15 (4, 10, 13)
$t_{\text{зд. р.}}^{0,1}, \text{нс}$	≤ 200 (10, 13)	≤ 260 (3, 10, 13) ≤ 130 (8, 10, 13)	≤ 160 (10, 13)	≤ 250 (3, 13) ≤ 120 (8, 13) ≤ 90 (9, 13)	≤ 90 (1, 10, 13) ≤ 18 (2, 10, 13) ≤ 15 (4, 10, 13)
$I_{\text{пот. дин}}, \text{мА}$	$\geq 2,5$	≥ 1 (3)	$\geq 2,6$	$\geq 1,5$ (3)	≥ 2 (4)
$U_{\text{пом}}, \text{В}$		$\geq 2,8$ (8)		≥ 3 (8)	

Типы выходов цифровых элементов

- Логические;
- С третьим состоянием;
- Открытые (с открытым стоком или коллектором).
- Программируемый выход

Применение объясняется различными условиями работы элементов в логических цепях, магистральных системах.

Обычный логический выход

- Хорошо, когда он имеет малое сопротивление и способен развивать большие токи для перезарядки емкостных нагрузок.
- Особенность – их нельзя соединять параллельно !!!

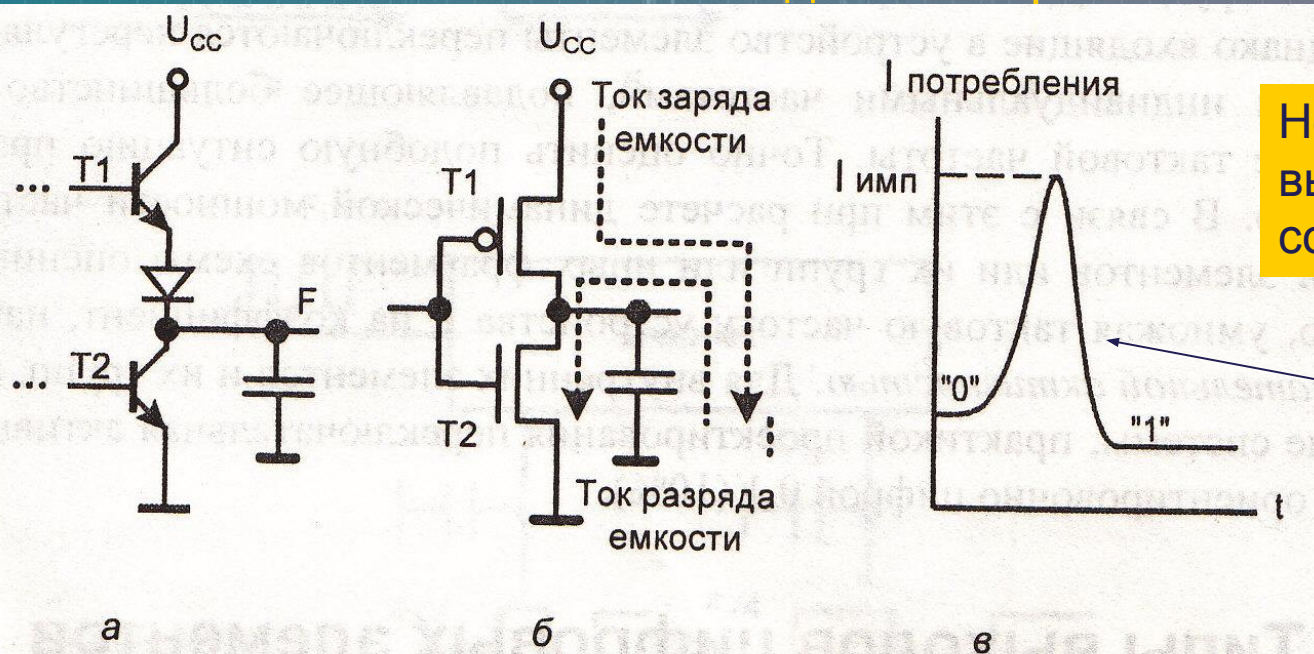
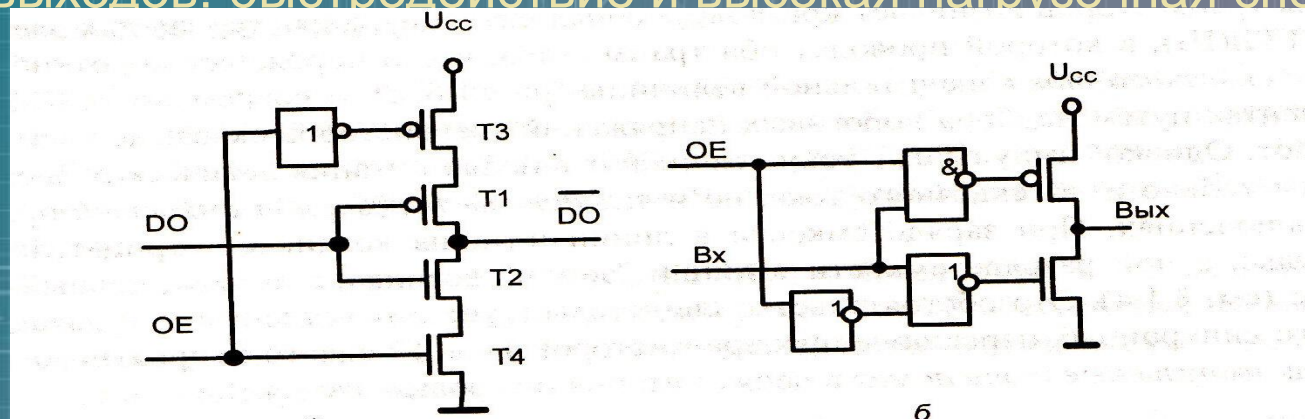


Рис. 1.6. Схемы логических выходов цифровых элементов (а, б) и график изменения тока, потребляемого ими в процессе переключения (в)

Выход с тремя состояниями

- Позволяют использовать одну линию связи несколькими ЛЭ, сохраняют достоинства обычных логических выходов: быстродействие и высокая нагрузочная способность.



Третье состояние выхода называют высокоимпедансным. При этом фактически происходит отключение выхода от нагрузки.

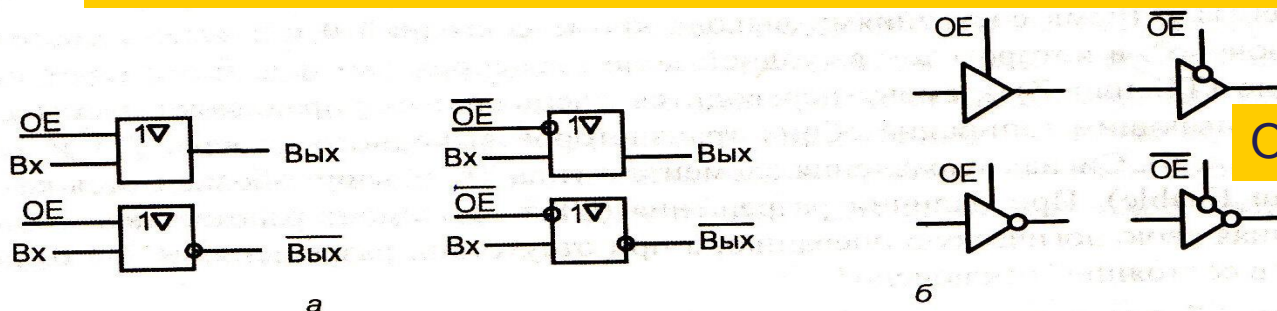
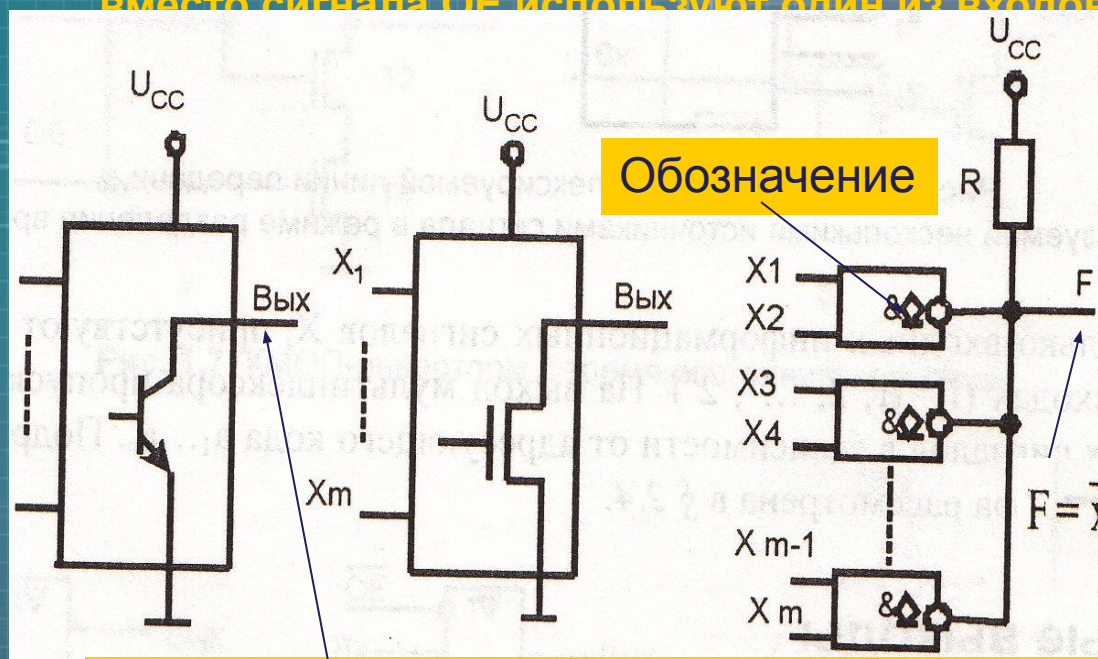


Рис. 1.8. Типы буферных каскадов с третьим состоянием (а, б — два варианта изображения)

Открытые выходы

- Требуется подключение внешних резисторов для исключения плавающего состояния выхода.
- Реализуется схема монтажной логики – высокое напряжение на выходе возникает только при запираии всех транзисторов.
- Может заменить схему с тремя состояниями при работе на магистраль – вместо сигнала OE используют один из входов.



Достоинства – защищенность от повреждений при ошибках Управления.

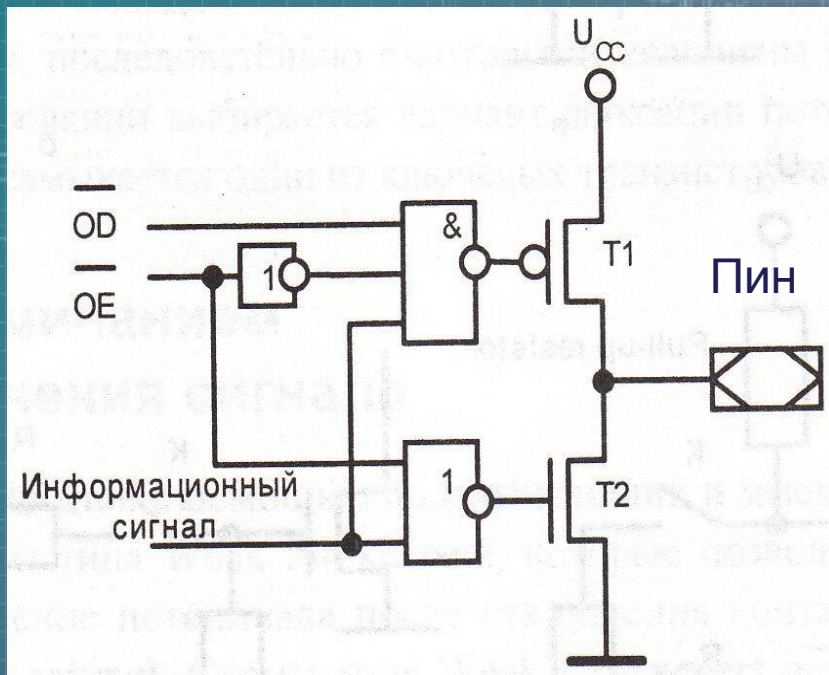
Недостаток – большая задержка переключения.

$$F = \overline{X_1 X_2 X_3 X_4 \dots X_{m-1} X_m} = \overline{X_1 X_2} \sqrt{X_3 X_4} \sqrt{\dots} \sqrt{X_{m-1} X_m}$$

При открытом транзисторе на выходе ноль, при закрытом – неопределенное состояние

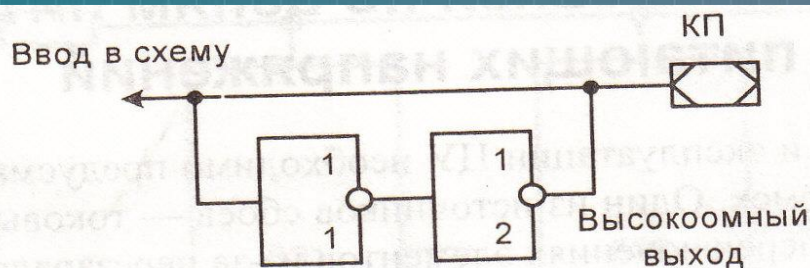
Программируемый выход

- Позволяет запрограммировать схему на два варианта : либо как каскад открытым коллектором, либо каскад с третьим состоянием.

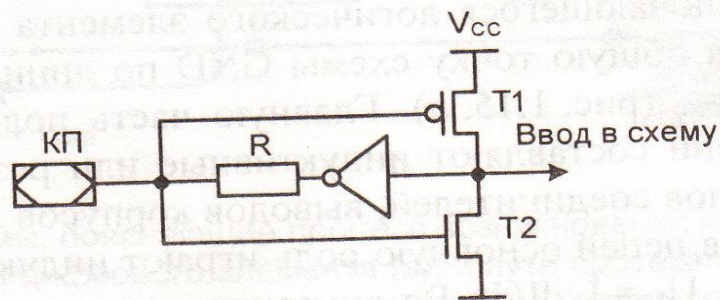


OE	OD	Режим
0	X	Отключено
1	1	Обычный
1	0	Открытый сток

Выводы с запоминанием последнего сигнала



Чтобы выход второго инвертора не шунтировал информационный сигнал, он должен быть высокоомным (сотни кОм).



При отключении источника сигнала от контактной площадки КП, сигнал на выходе будет поддерживаться слабым сигналом с инвертора.

Особенности выводов КМОП-элементов

- Высокоомные выводы КМОП – элементов нельзя оставлять разомкнутыми, так как на них могут наводиться произвольные потенциалы, что придает схеме неопределенные состояния.

Схема с подтягивающим и заземляющим резисторами, которые фиксируют состояние разомкнутых выводов.

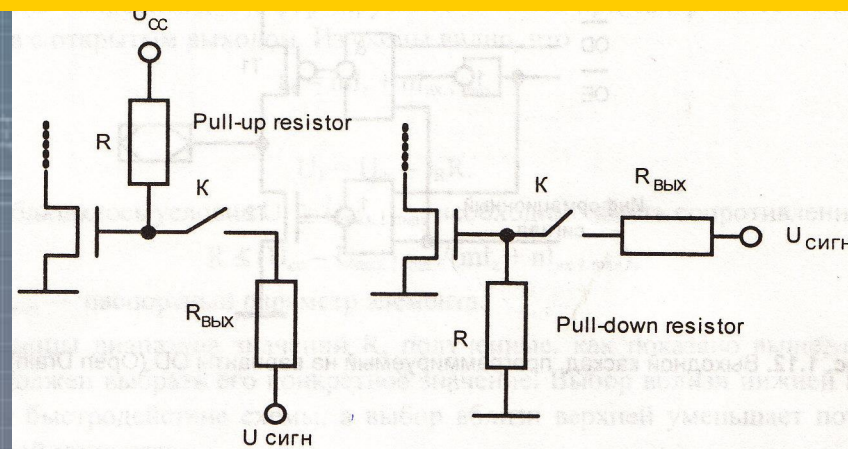
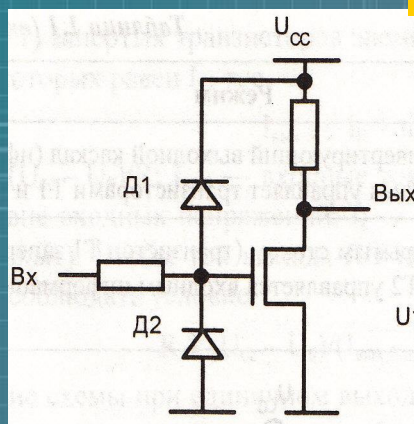


Схема защиты от перенапряжений по входу

Задание для самостоятельной работы
По учебнику Угрюмова Е.П. ----- Глава 1 параграфы 1.1-1.3
Стр.7-28

Thank You !

Click to edit subtitle style