

«Конструкторско- технологическое обеспечение производства» (КТОП)

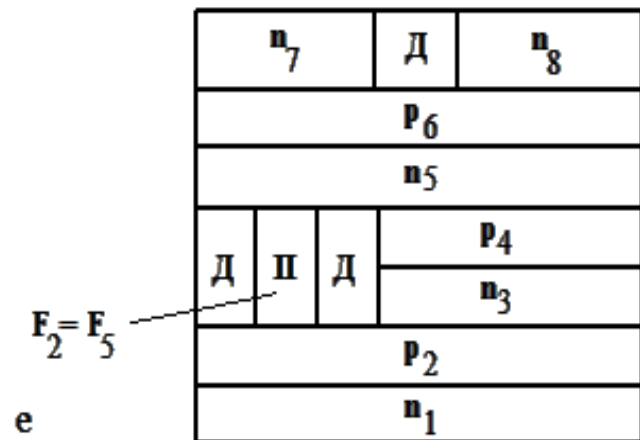
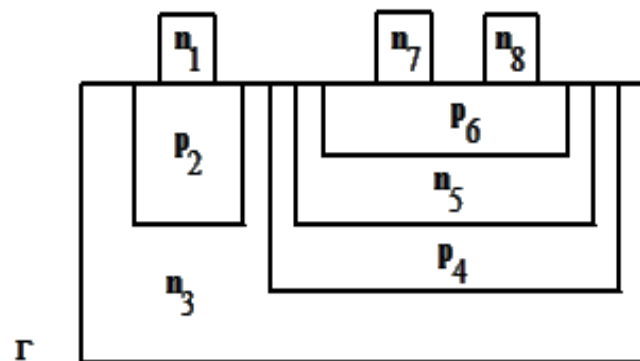
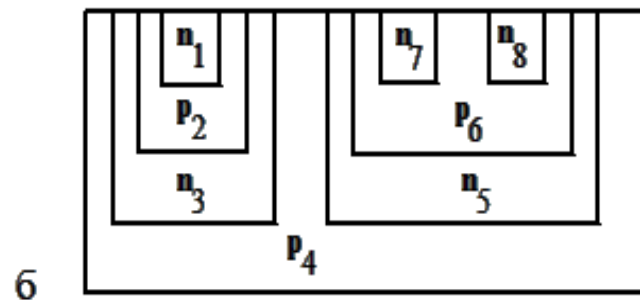
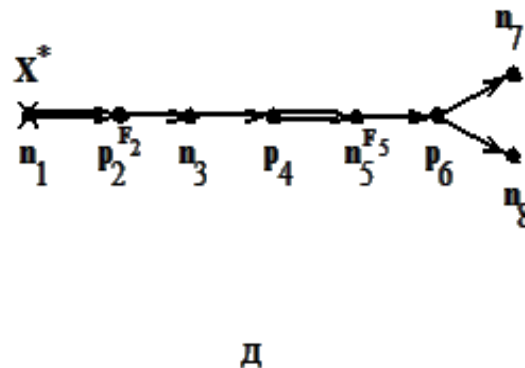
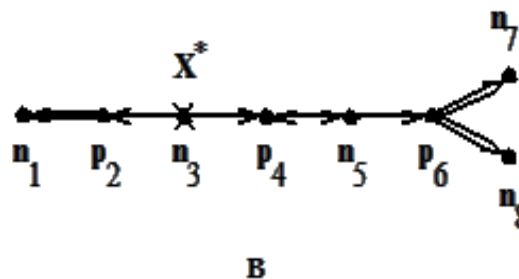
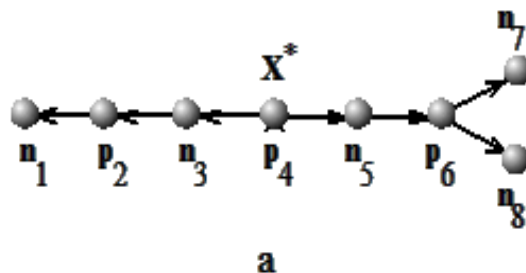
для образовательной программы 09.03.01 «Информатика и
вычислительная техника»

Лекция 7

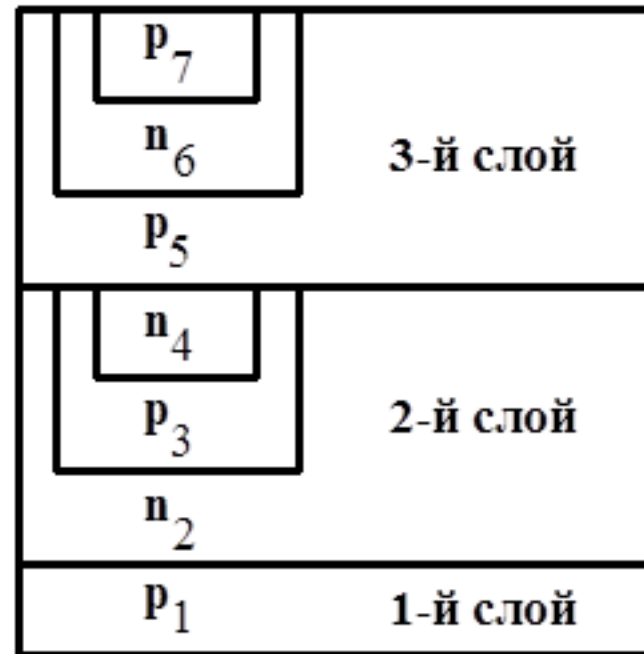
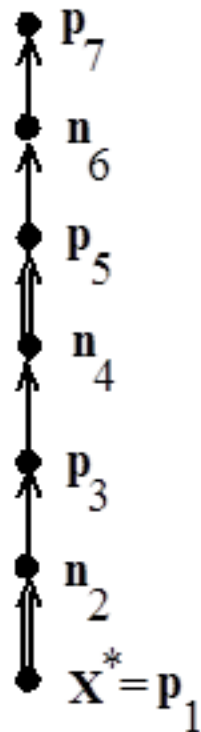
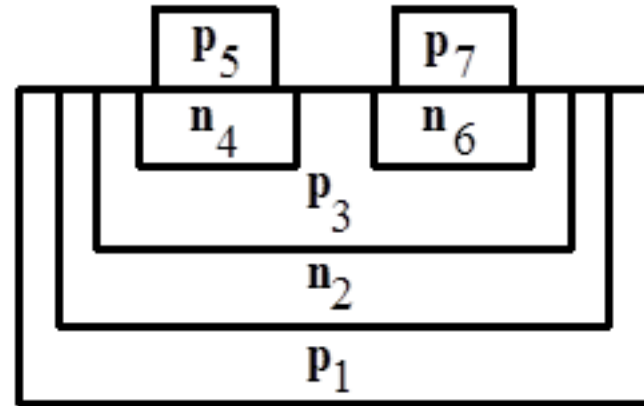
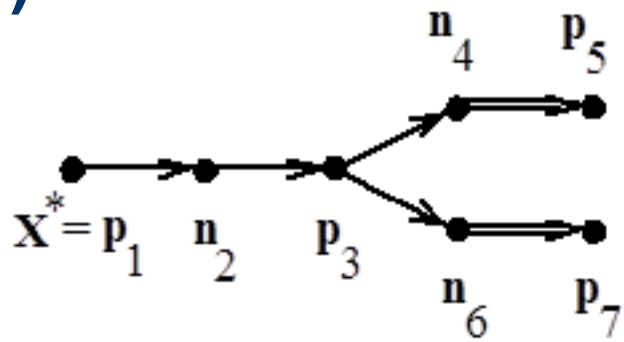
Лектор

Трубочкина Надежда Константиновна,
д.т.н., профессор, ntrubochkina@hse.ru

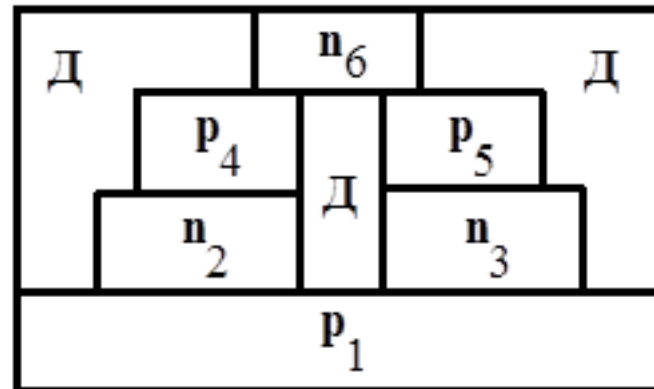
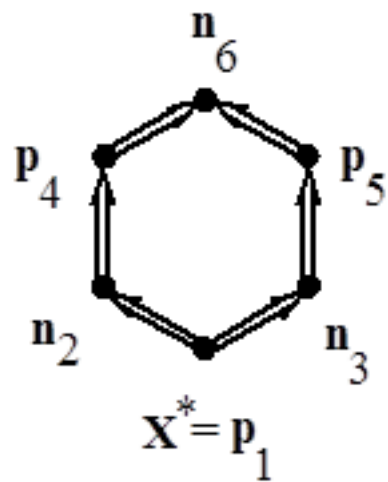
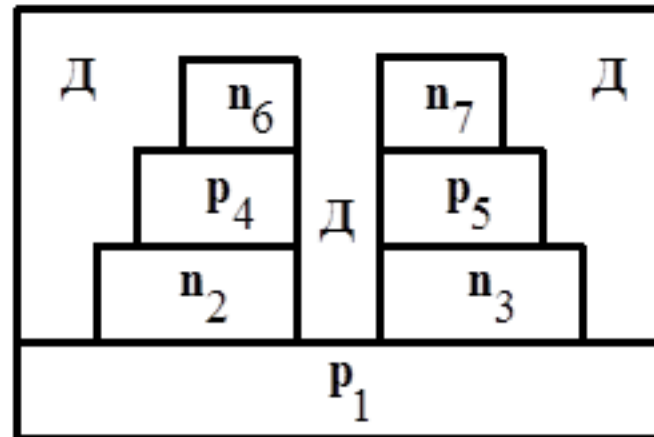
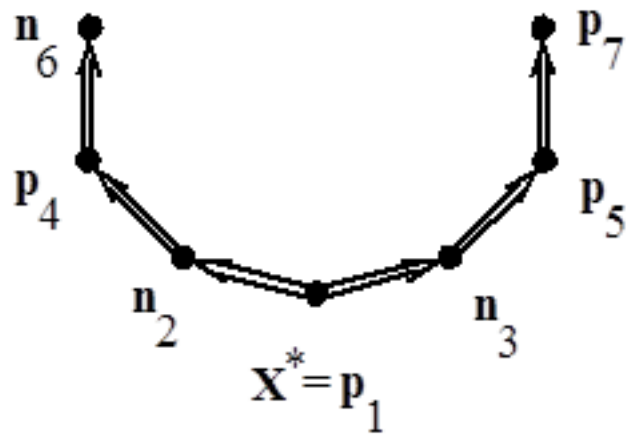
Структурные формулы – модели переходных элементов в пространстве (1)



(2)



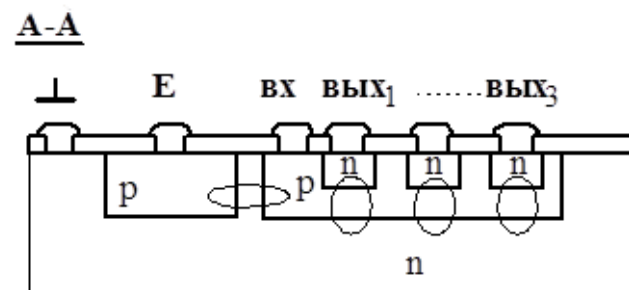
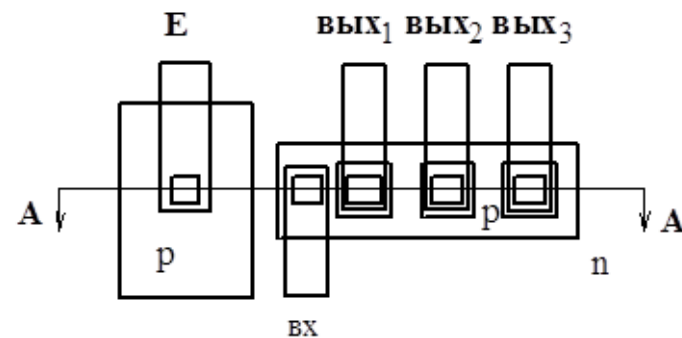
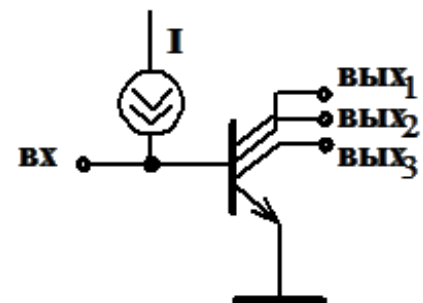
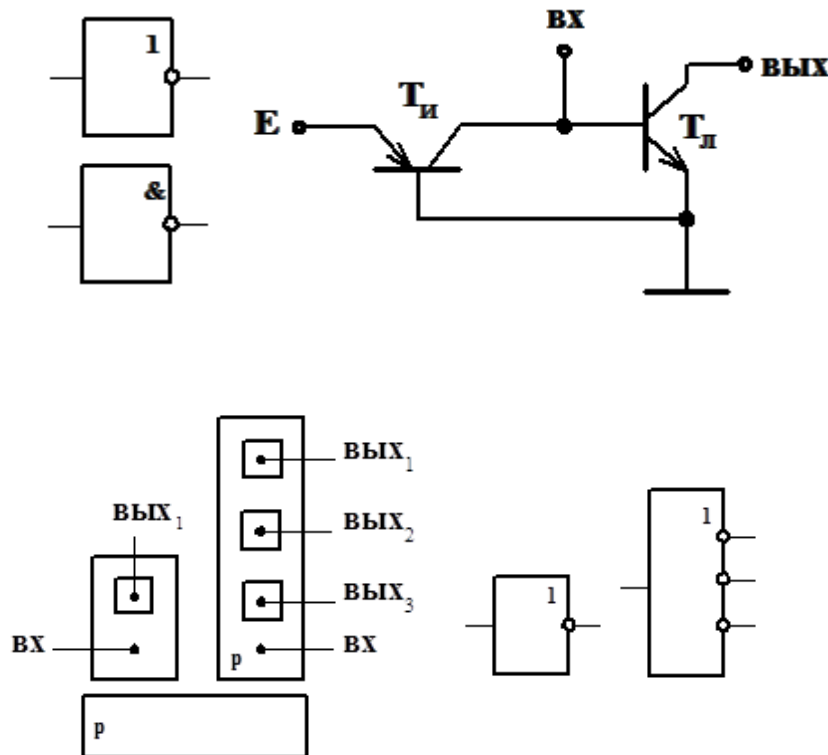
(3)



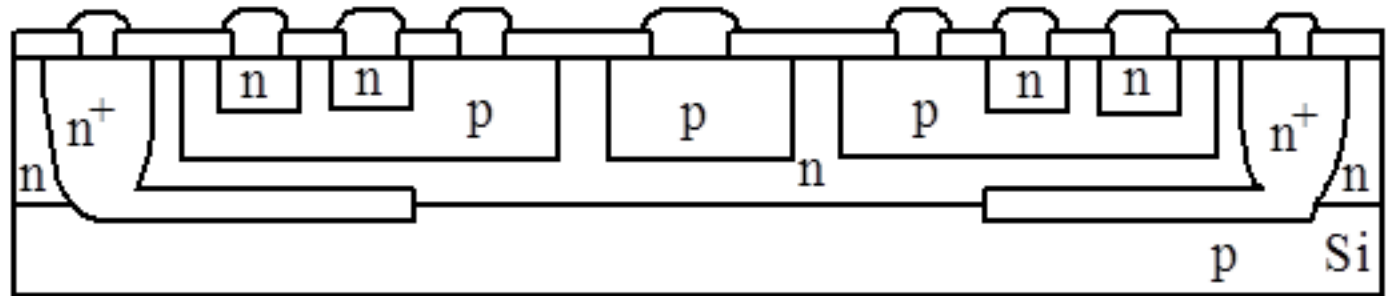
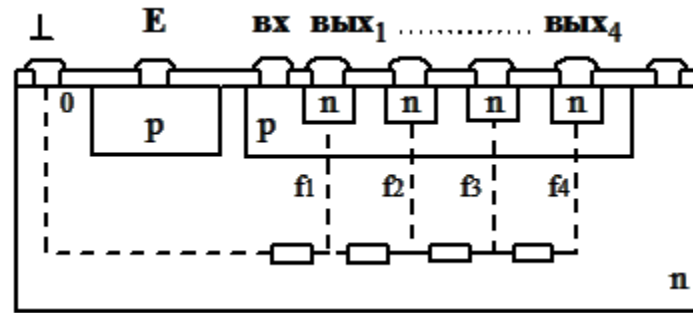
Реализации переходных схем на базе инжекционного инвертора

Инжекционный инвертор (ИИ) с торцевым инжектором (схема HE)

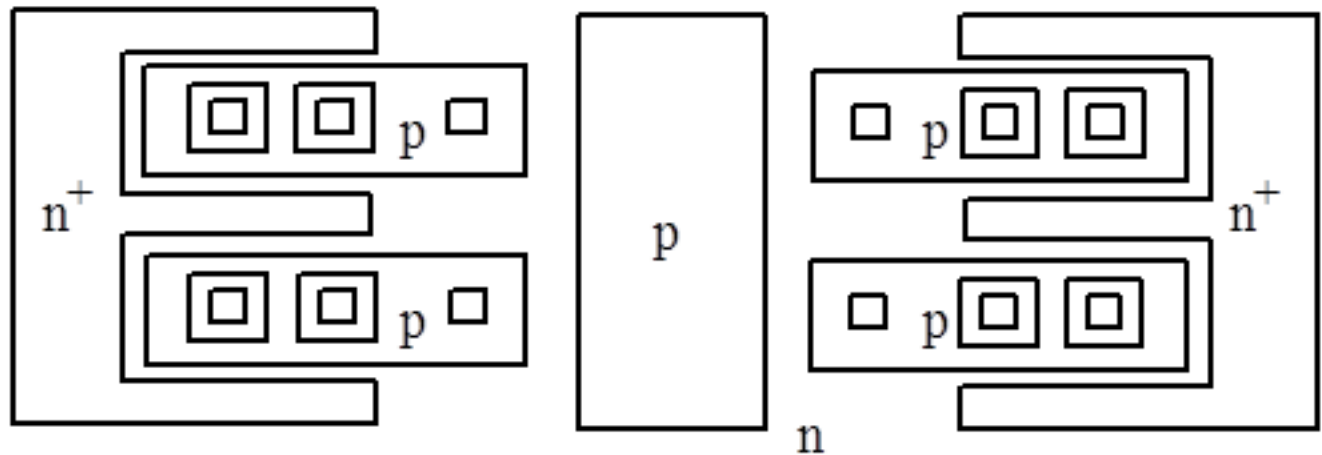
N=1



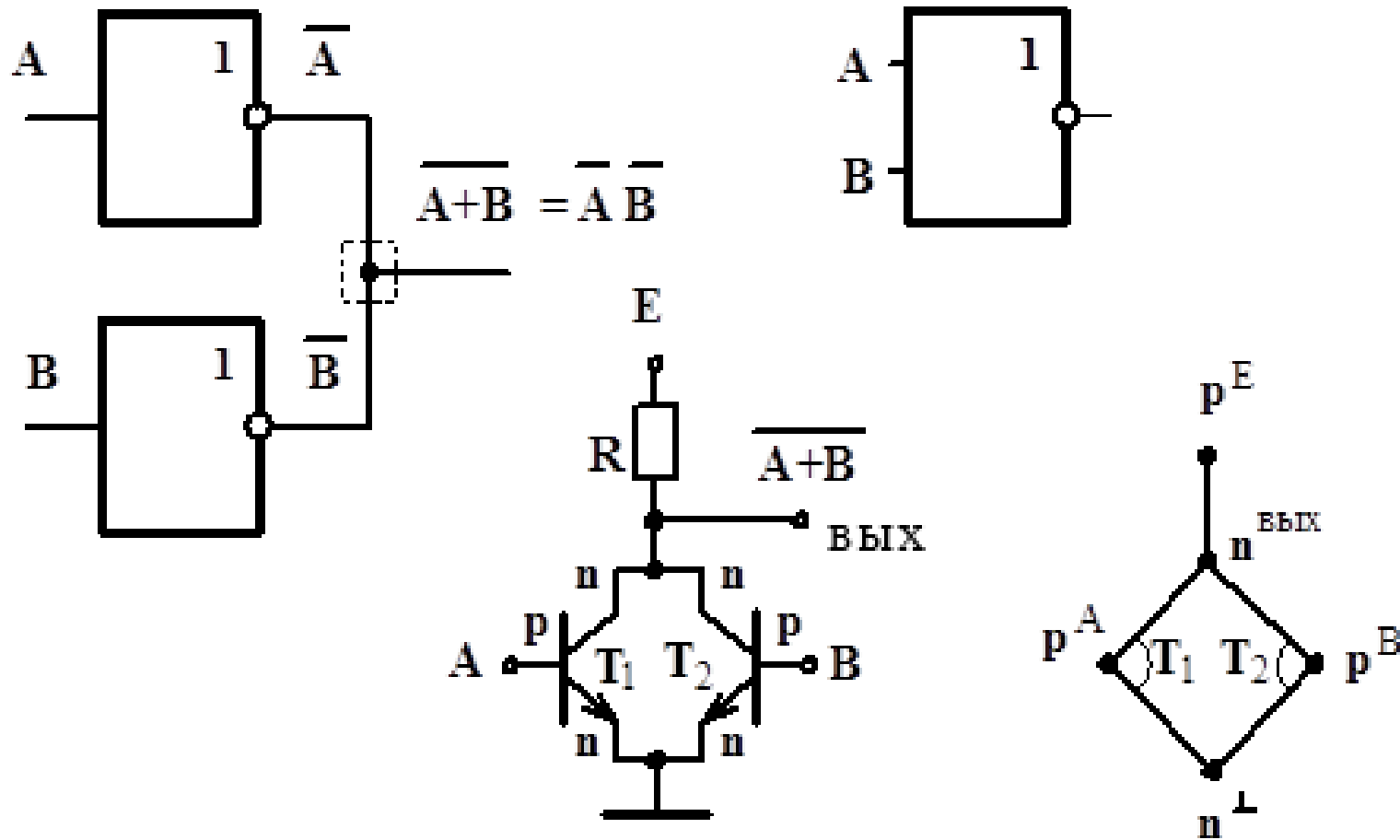
Недостаток



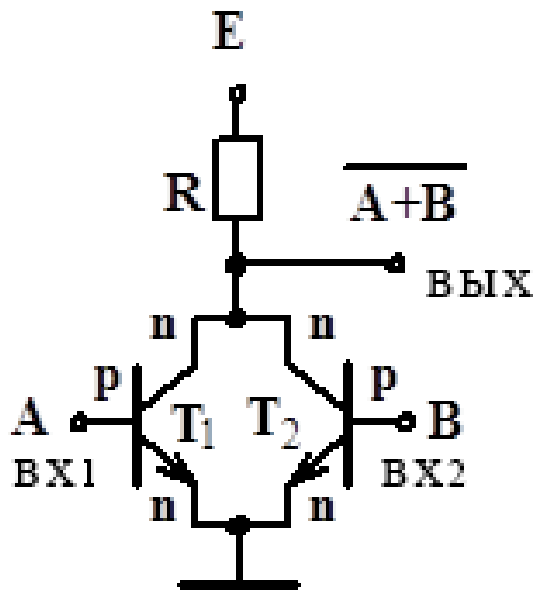
Решение



Инжекционный элемент ИЛИ-НЕ

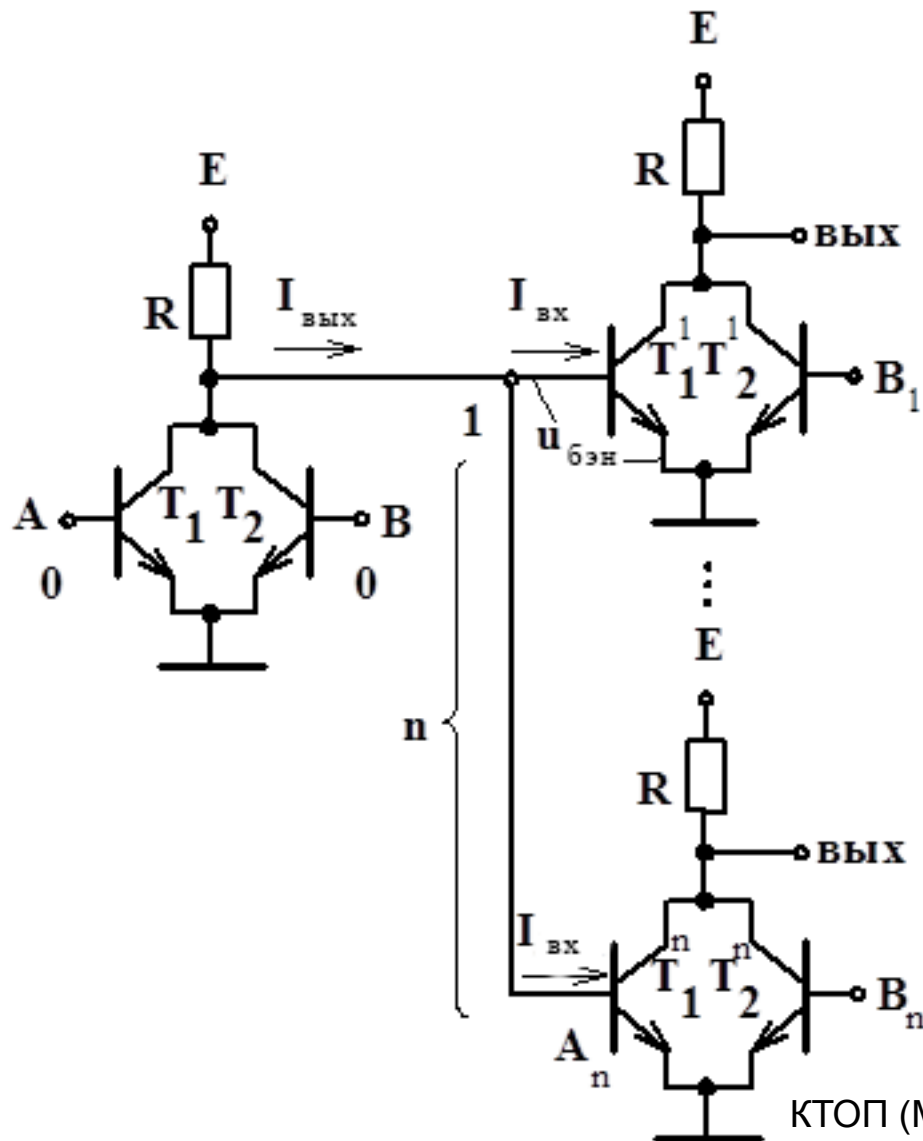


Работа элемента ИЛИ-НЕ (без нагрузки)



Вход	Состояние транзисторов	Выход
$U_A = U_B = U^0$	T_1, T_2 – закрыты	$U_{\text{ВЫХ}} \sim E$ (1)
$U_A = U^0,$ $U_B = U^1$	T_1 – закрыт, T_2 – открыт, должен быть насыщен	$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{кЭН}} = 0,$ $1-0,3В$ (0)
$U_A = U^1,$ $U_B = U^0$	T_2 – закрыт, T_1 – открыт, должен быть насыщен	$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{кЭН}} = 0,$ $1-0,3В$ (0)
$U_A = U_B = U^1$	T_1, T_2 – открыты, должны быть насыщены	$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{кЭН}} = 0,$ $1-0,3В$ (0)

Работа элемента ИЛИ-НЕ (НСТЛ) с нагрузкой



- $U_A = U^0, U_B = U^0$

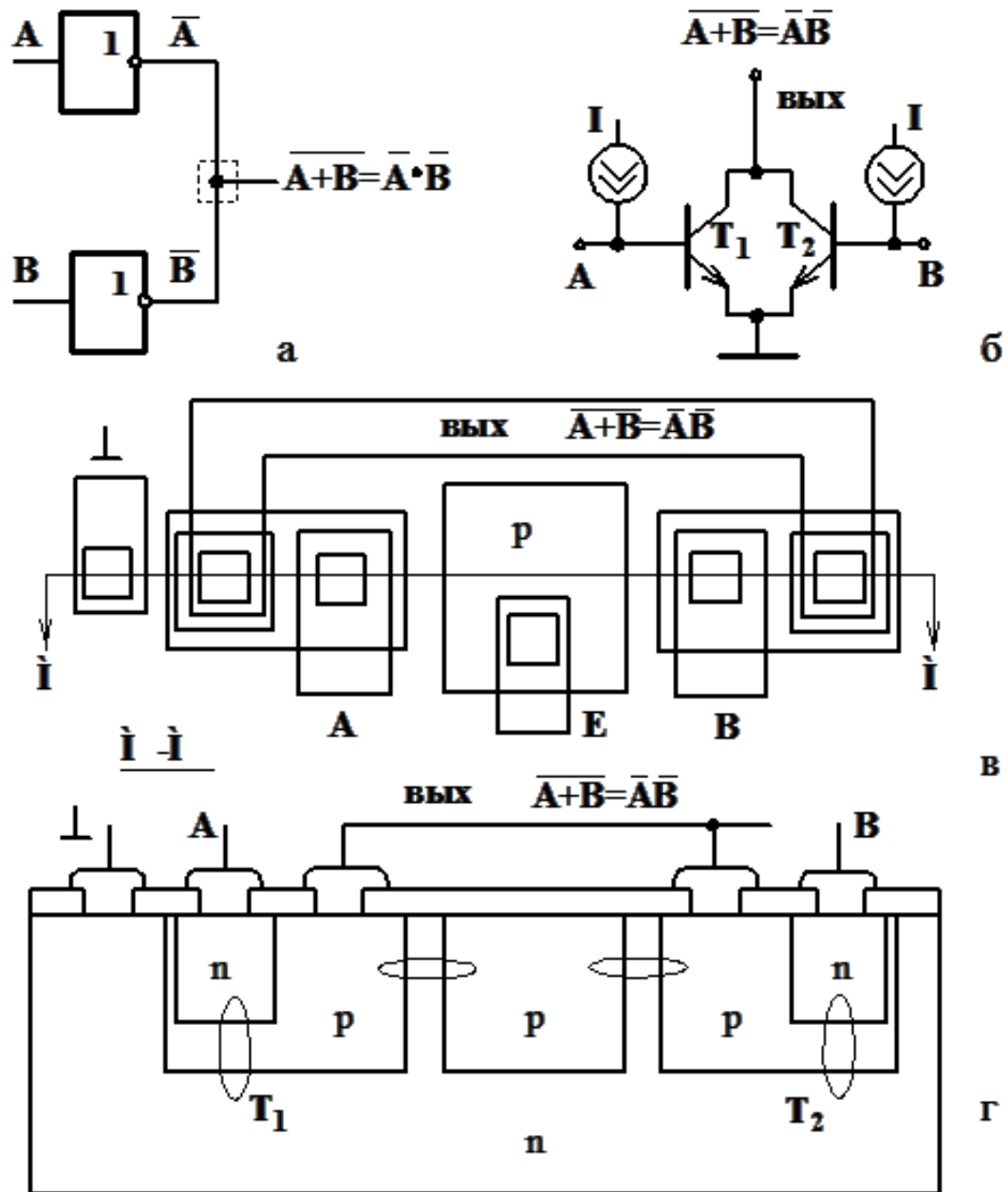
Недостаток (-)

$$U^1 = E - \left[n I_{вх} R = U_{бэ} \right]$$

(-) В транзисторной схемотехнике избыточен по областям и соединения

Достоинство НСТЛ: т.к. реализует логическую функцию ИЛИ-НЕ, является **функционально полным вентилем**, т.е. на нем можно реализовывать сколь угодно сложные логические схемы.

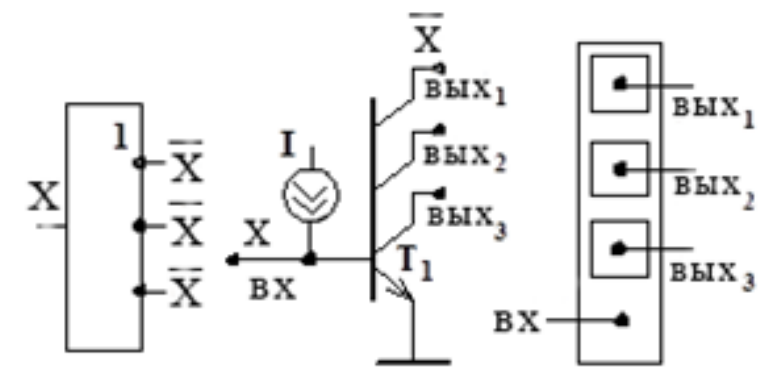
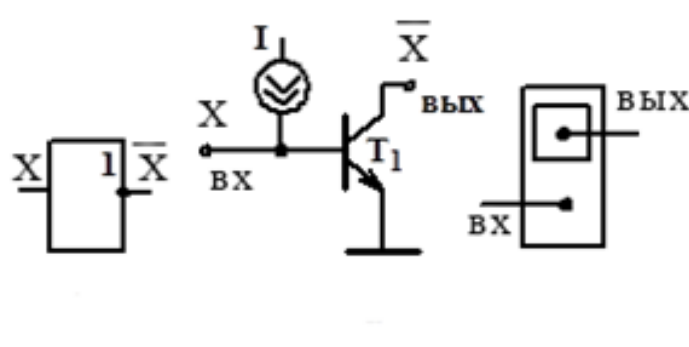
ИНЖЕКЦИОННЫЙ ВЕНТИЛЬ ИЛИ-НЕ



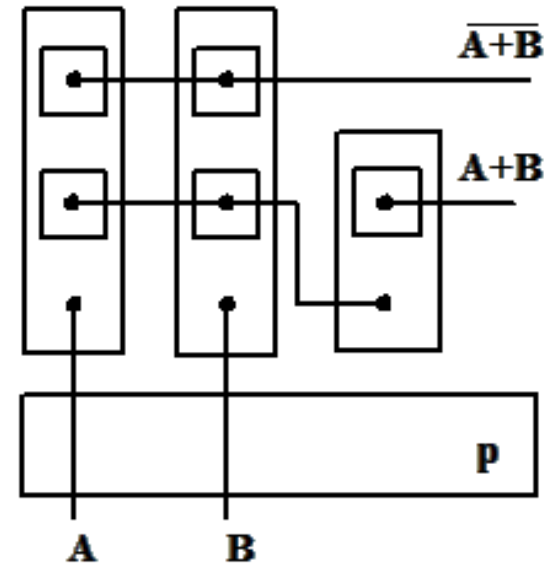
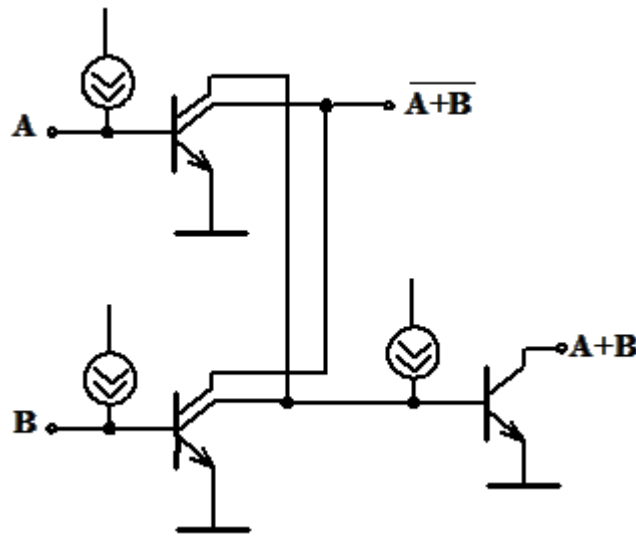
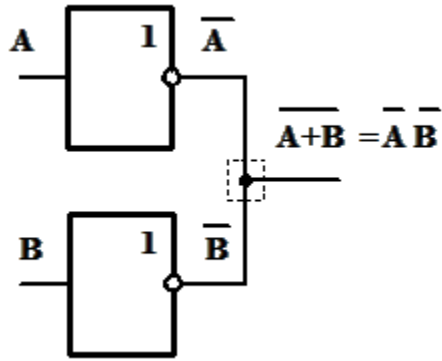
КТОП (Модуль 3)

Схемотехника инжекционных схем

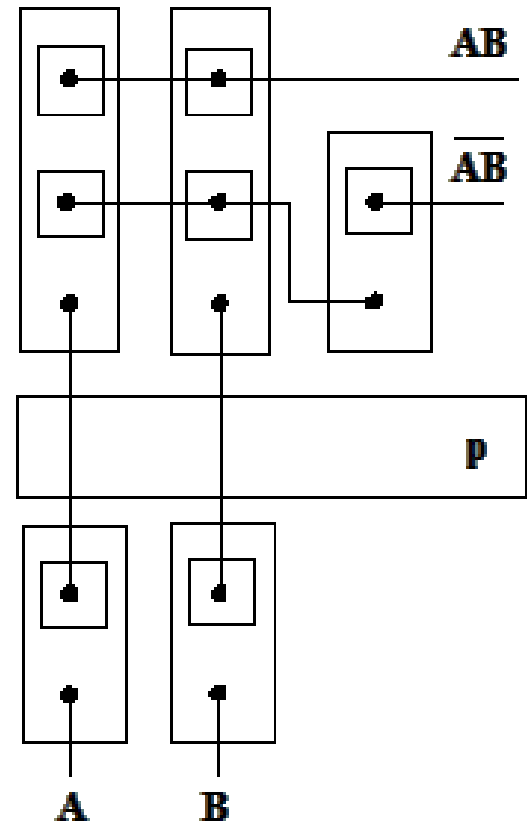
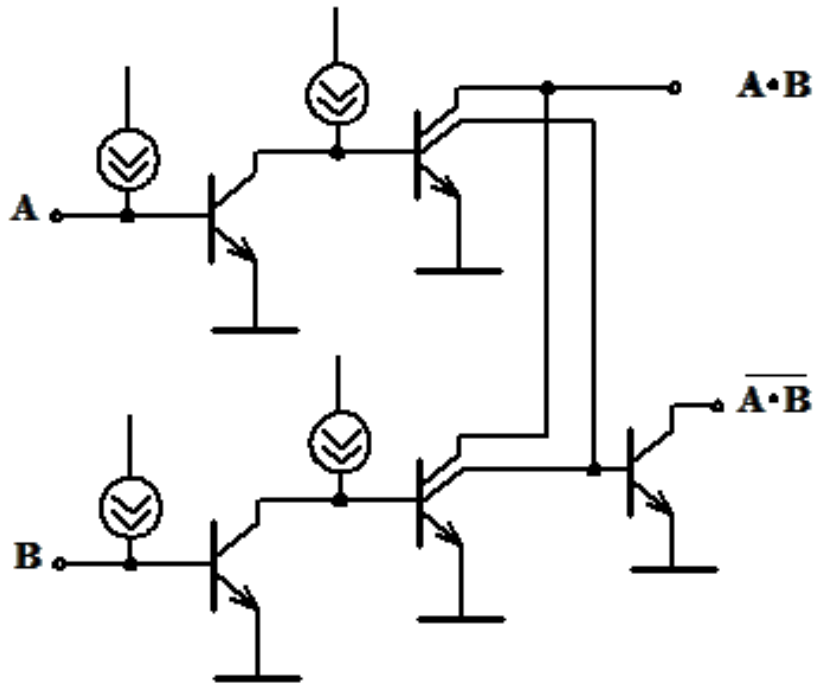
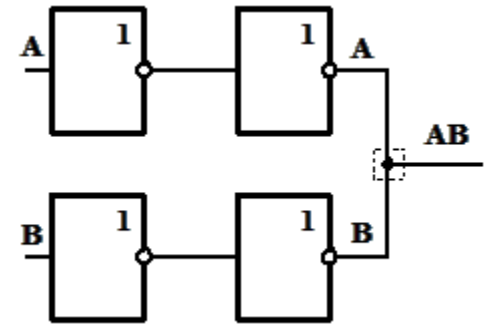
- Логический базис НЕ-Ми
- Базовая схема НЕ



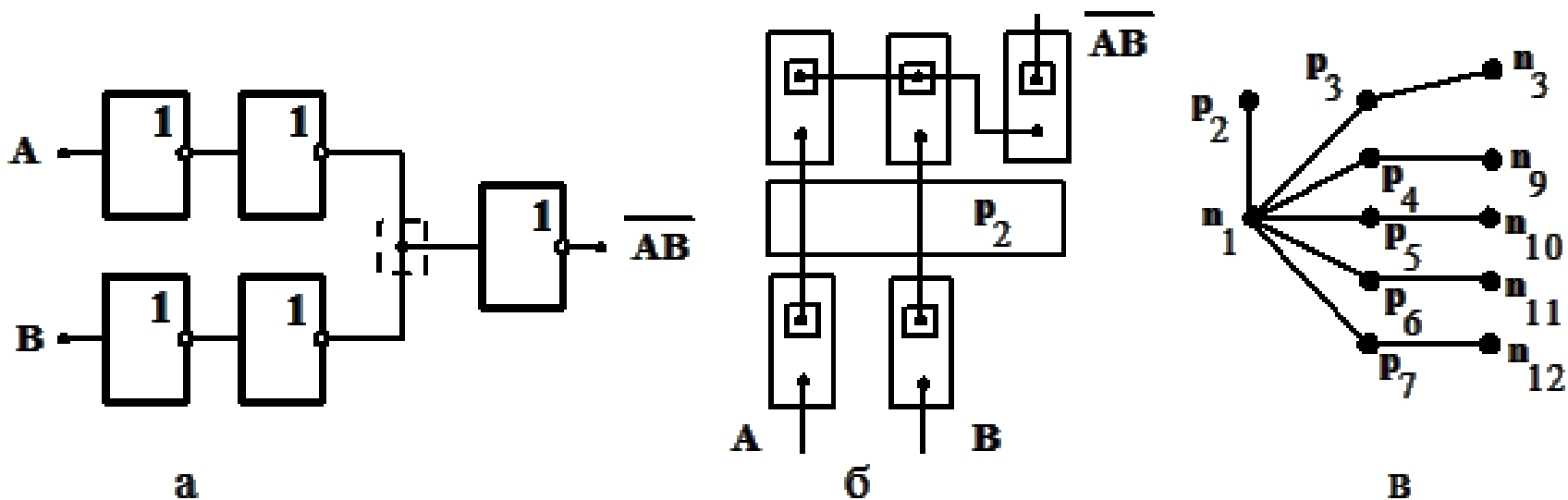
Инжекционная схема ИЛИ-НЕ/ИЛИ



Инжекционная схема И-НЕ/И



Уровни представлений инъекционной схемы И-НЕ в схемотехнике И2Л



$$N_{\text{обл}} = 12$$

Алгоритм проектирования сложных схем в схемотехнике И²Л

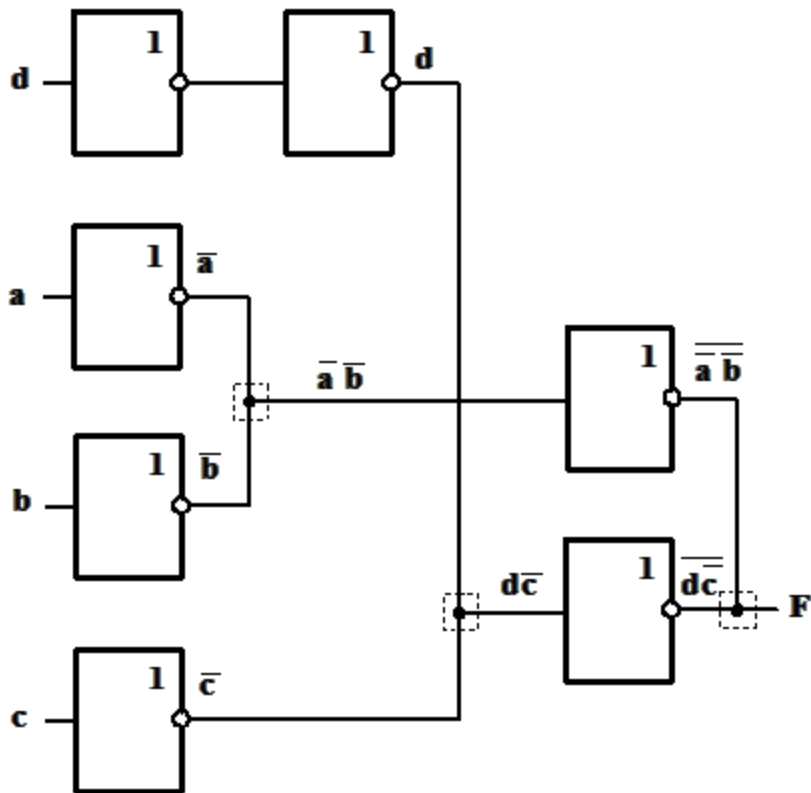
$$\text{МКНФ}(\overline{\overline{F}})$$

прочитать так:

- взять МКНФ(F) – минимальную конъюнктивную нормальную форму функции F;
- взять двойное почленное отрицание (над каждой суммой);
- раскрыть внутренние отрицания, используя закон Де Моргана, оставив внешнее отрицание.

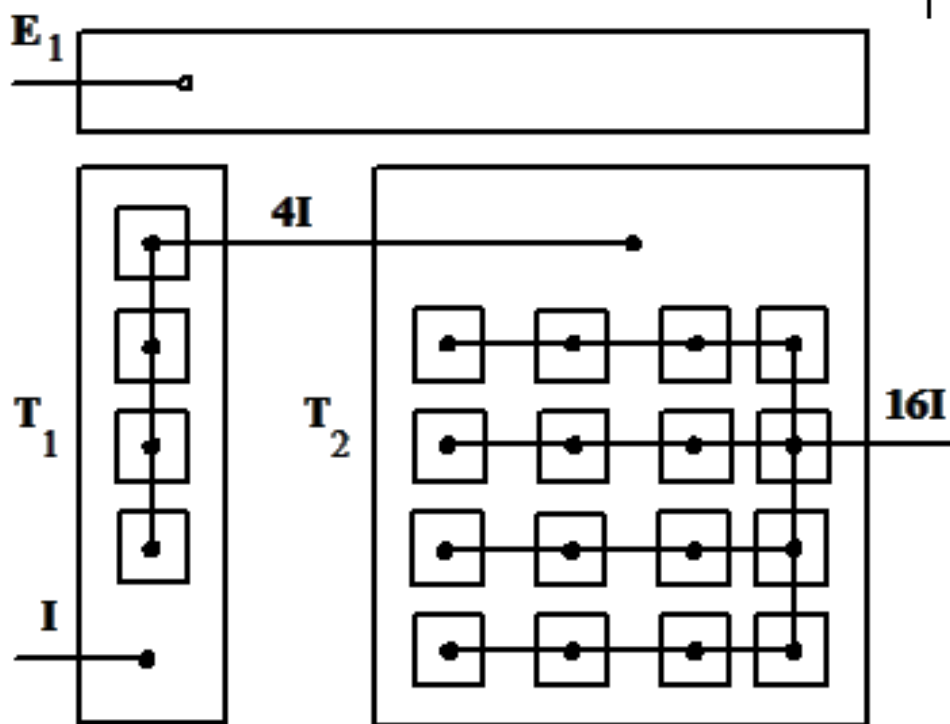
То есть инверсии сумм нужно превратить в произведение инверсий.

Пример

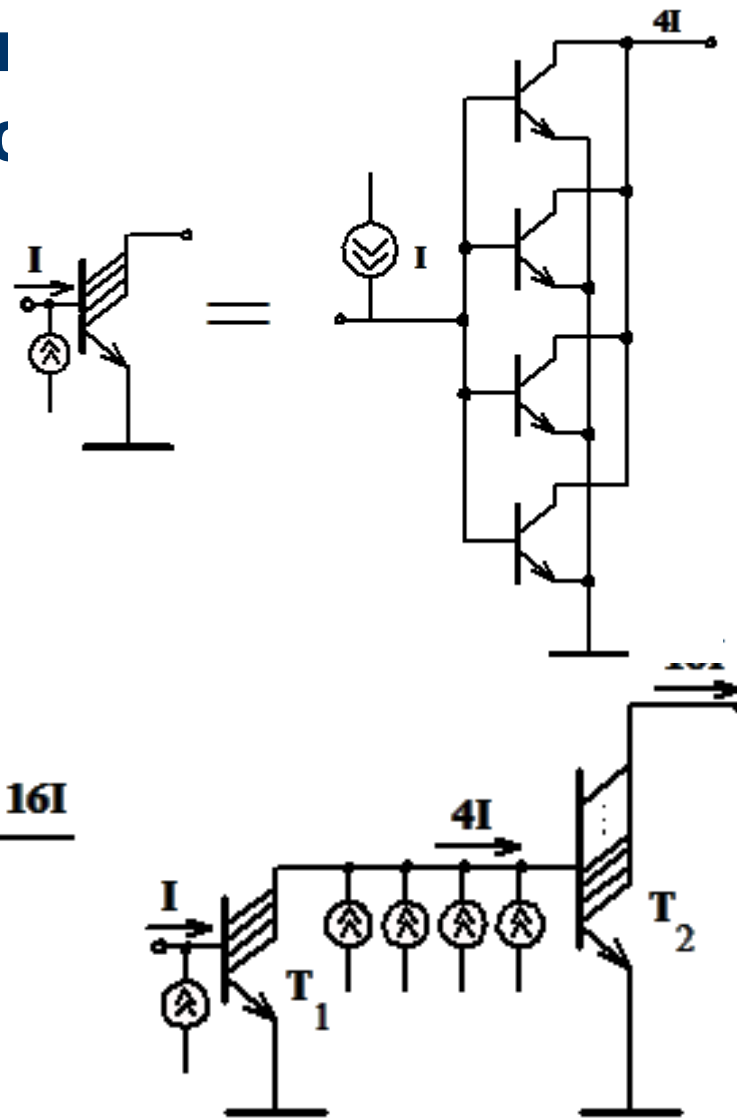


$$F = (a + b)(c + \bar{d}) =$$
$$\overline{\overline{a b}} \overline{\overline{c d}} =$$
$$\overline{a b} \overline{c d}$$

Другие типы инжекцион Специальные схемы. Ус

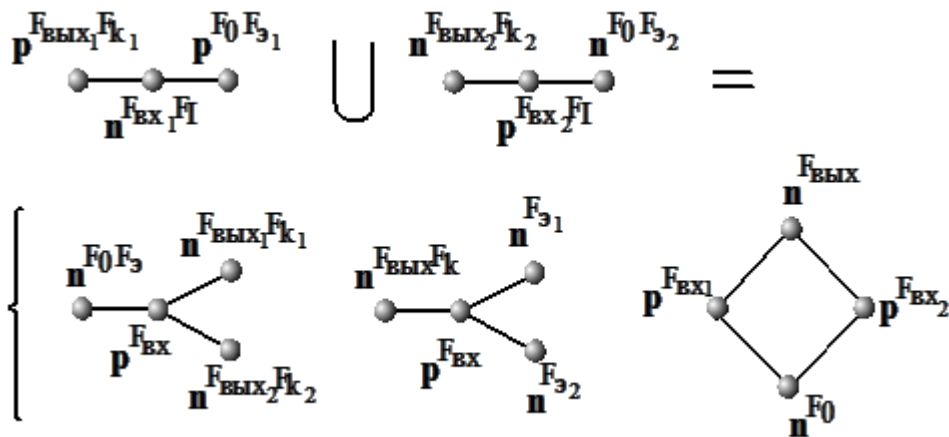
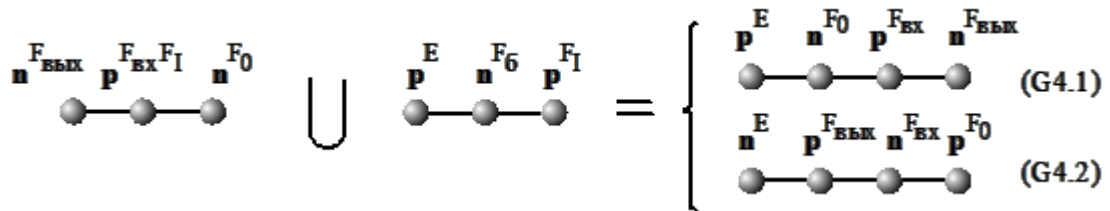
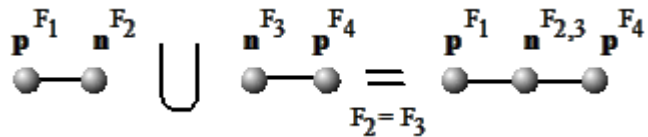


а

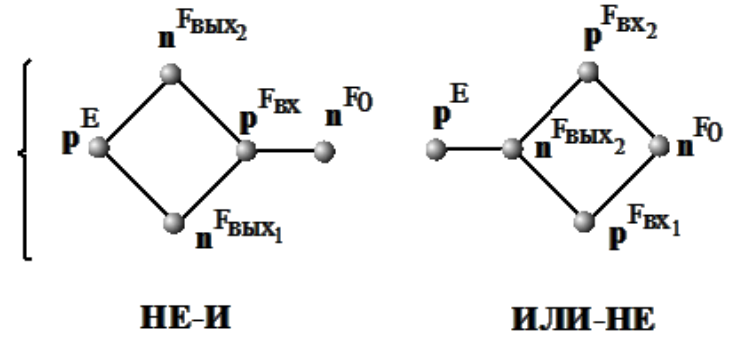
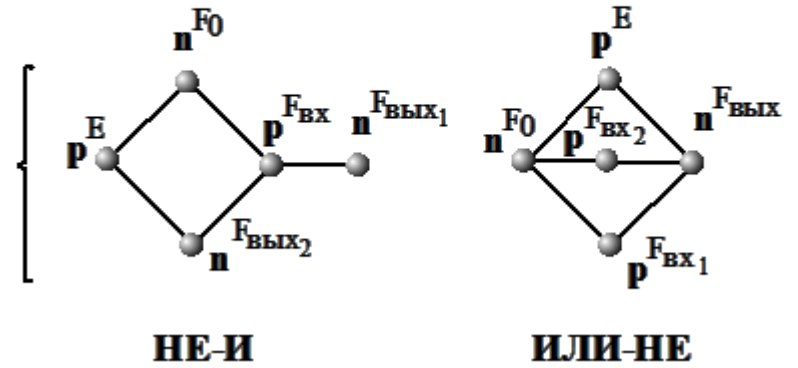
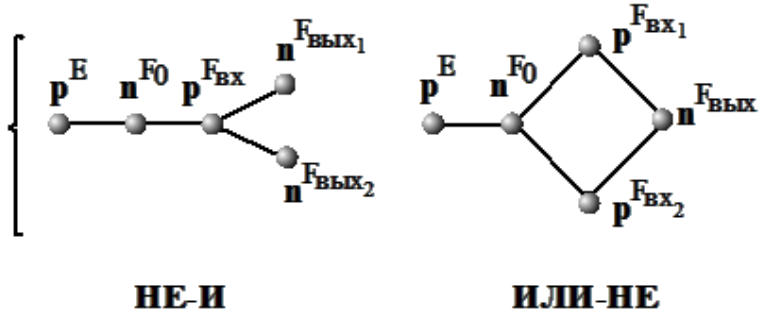


б

Уравнения синтеза моделей N=3, N=4

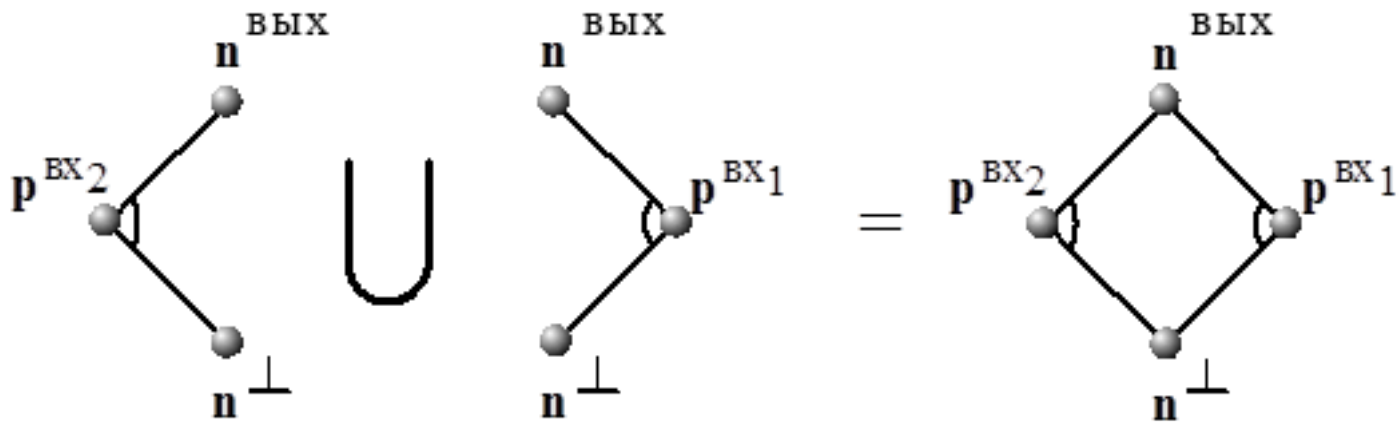


Уравнения синтеза моделей N=5

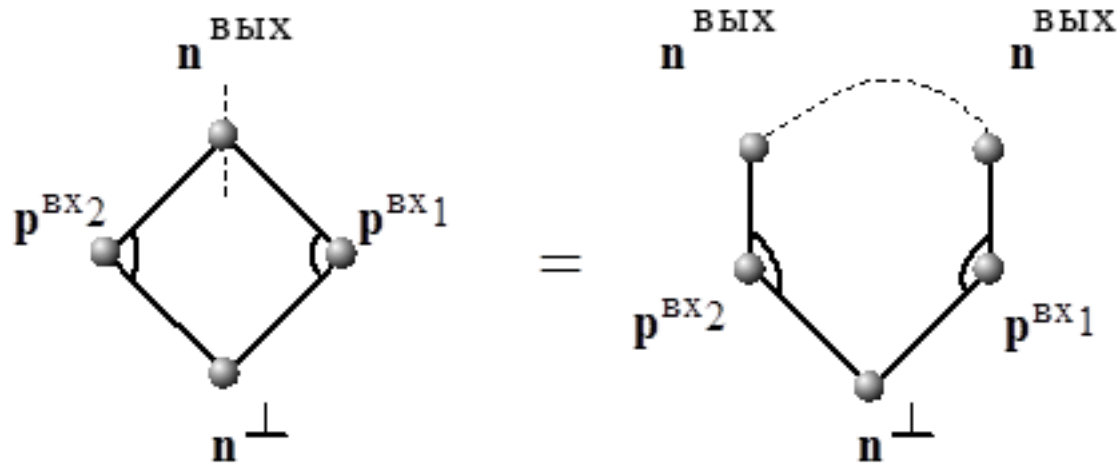


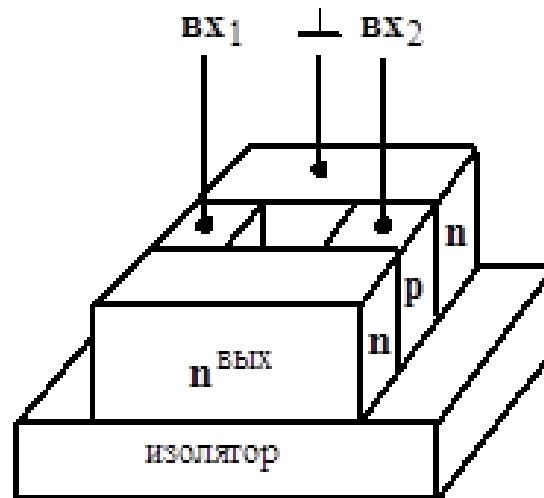
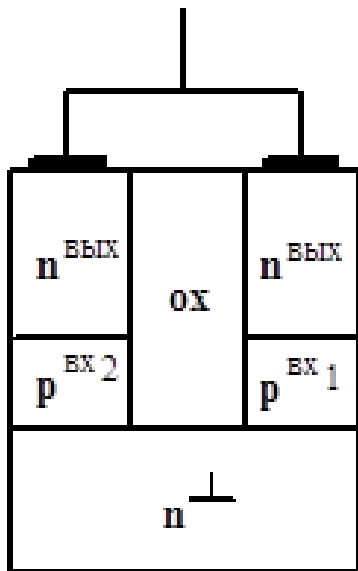
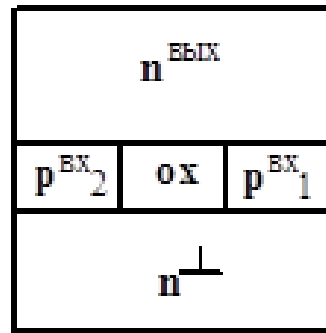
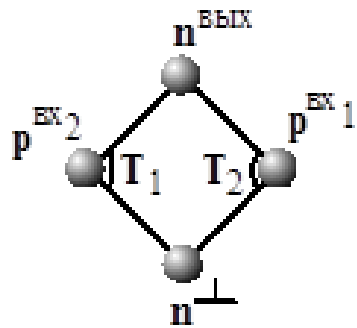
Пример проектирование схемы N=4 в переходной (интегральной) схемотехнике

1-й этап. Синтез модели



Приведение оптимальной модели к модели для эпитаксиально-планарной технологии

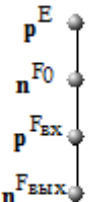
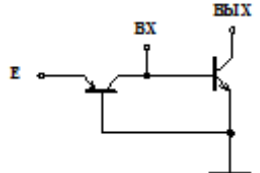
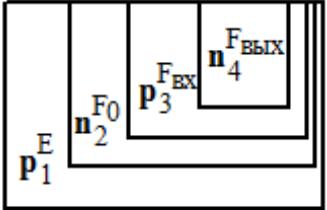
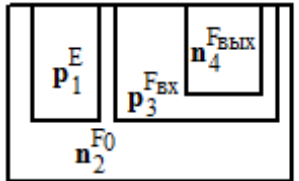




**Синтез
интегральной
структуры
оптимальной
модели (с
циклом
переходов)**

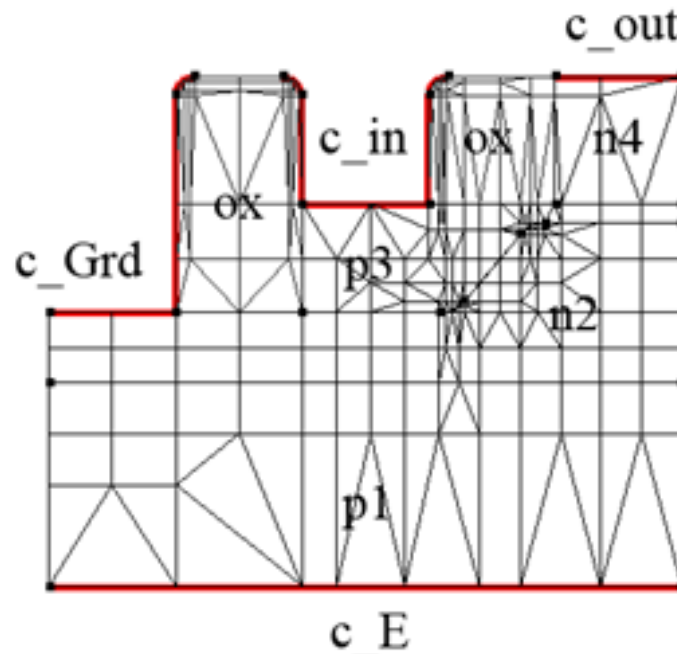
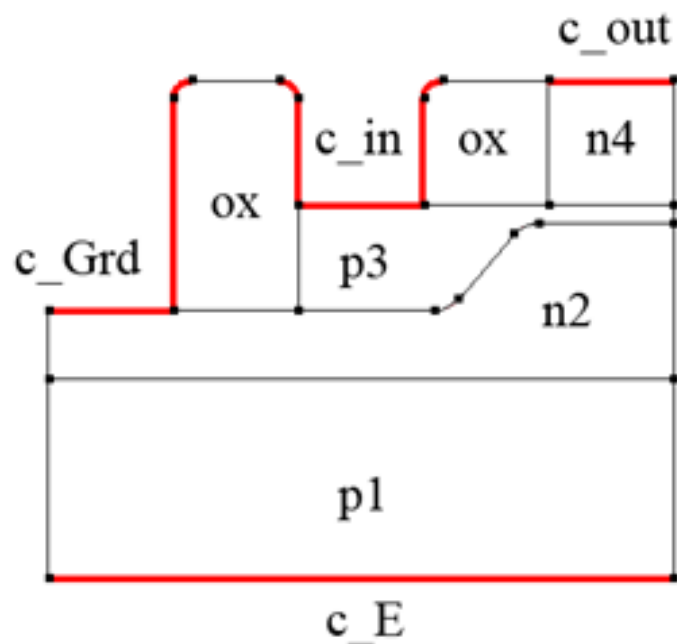
Генерация структур инжекционного инвертора N=4

Часть интегральных структур инжекционных инверторов с математической моделью G4.1

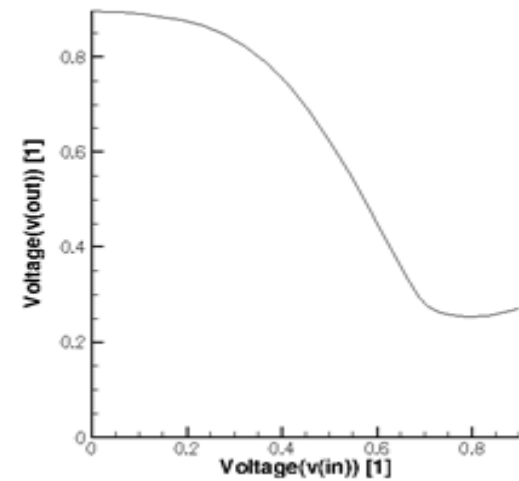
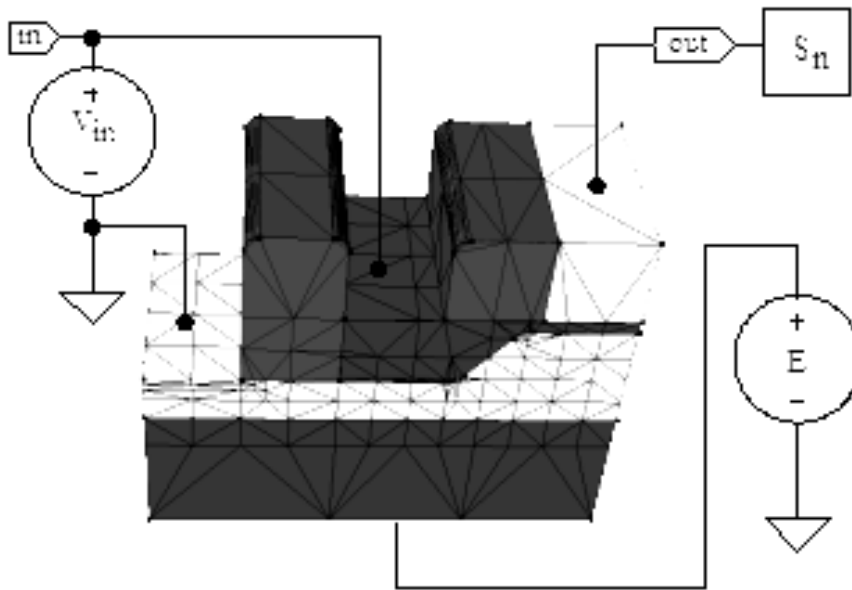
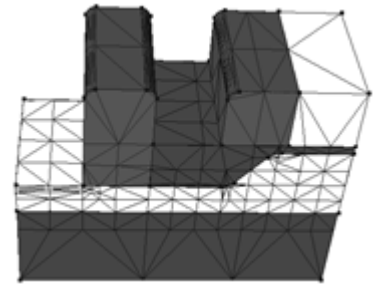
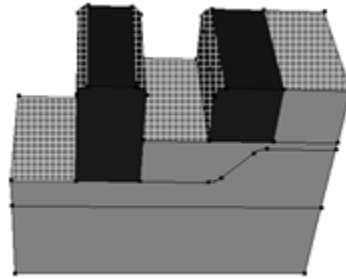
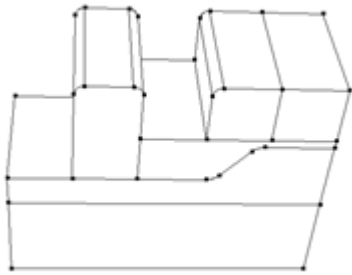
Математическая модель ИИ	Принципиальная схема в транзисторной схемотехнике	Структурная формула ФИЭ	Интегральная структура ФИЭ	р-п-р транзистор	п-р-п транзистор	Примечание	Номер ФИЭ
1	2	3	4	5	6	7	8
		$E \quad F_0 \quad F_{вх} \quad F_{вых}$ $p_1 \rightarrow n_2 \rightarrow p_3 \rightarrow n_4$		вертикальный, инверсный	вертикальный, инверсный		G4.1.1
		E p_1 \uparrow $n_2 \quad F_0 \quad F_{вх} \quad F_{вых}$ $n_2 \rightarrow p_3 \rightarrow n_4$		горизонтальный	вертикальный, инверсный		G4.1.2

Моделирование наноструктуры вертикального инжекционного инвертора N=4

$$p_1^E \Rightarrow n_2^{Grd} \Rightarrow p_3^{in} \Rightarrow n_4^{out}$$



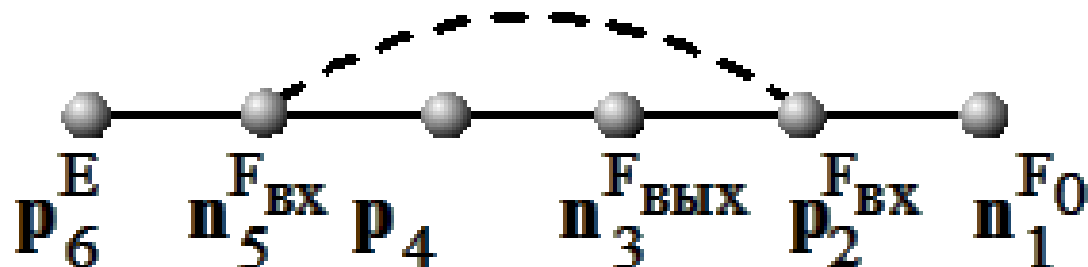
Физическая наноструктура моделируется в составе электрической схемы



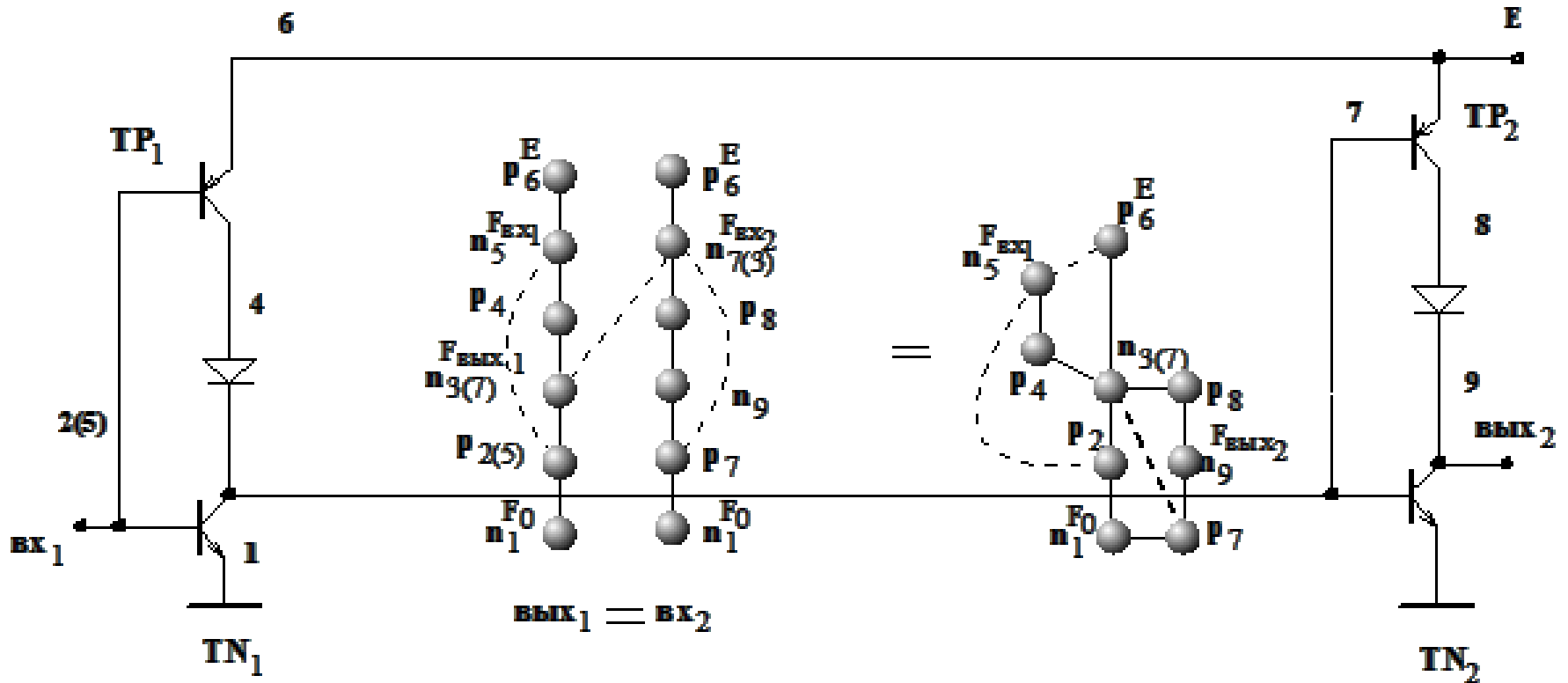
Другие инверторы переходной схемотехники (N=5, N=6). Синтез инверторов (N=5)

- N=5
$$n_1^{F_{\text{ВХ}}} - \left(p_2^E - n_3^{F_0} - p_4^{F_{\text{ВХ}}} - n_5^{F_{\text{ВЫХ}}} \right)$$

- N=6

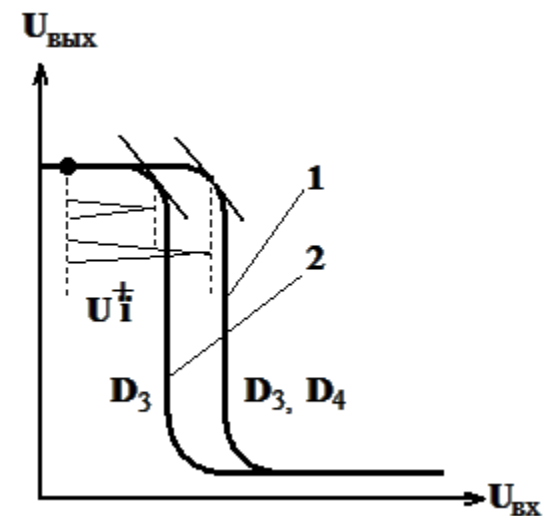
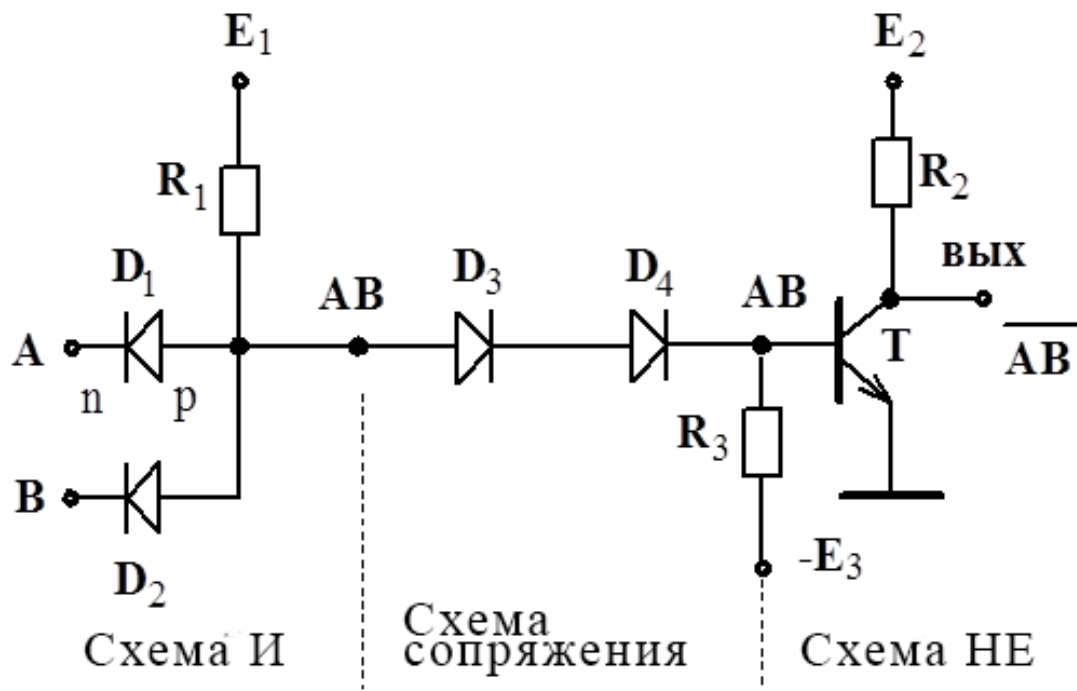


Функциональная интеграция элементов в СБИС



РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИИ И-НЕ В ТРАНЗИСТОРНОЙ И ПЕРЕХОДНОЙ СХЕМОТЕХНИКАХ

Диодно-Транзисторная Логика (ДТЛ)



Достоинства и недостатки ДТЛ

Достоинства:

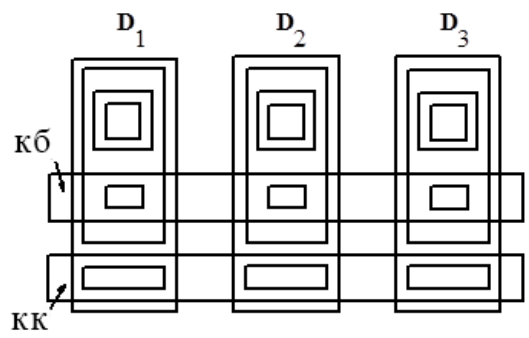
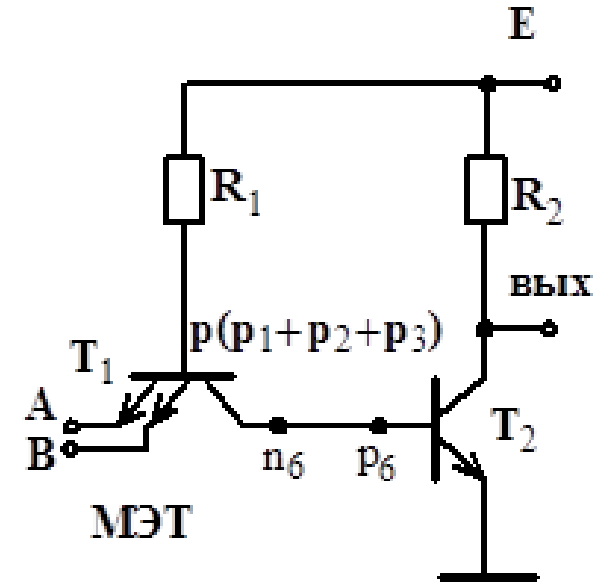
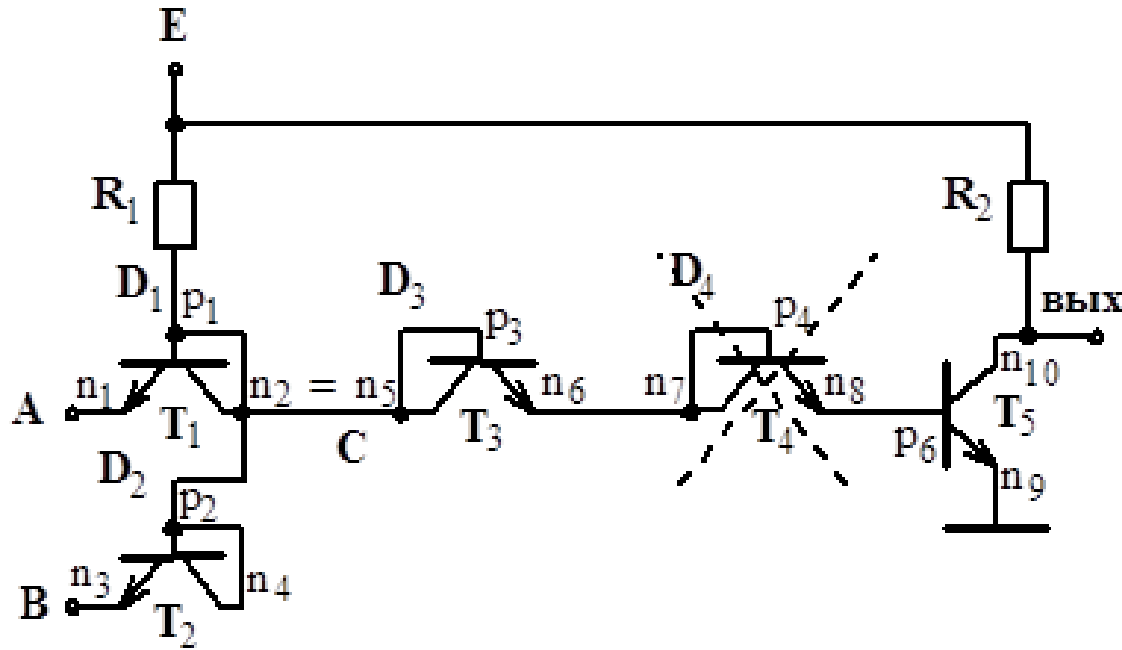
- большой запас помехоустойчивости по положительной помехе при наличии двух диодов в схеме сопряжения и
- высокая, в сравнении с МОП и КМОП схемами радиационная стойкость.

Недостатки:

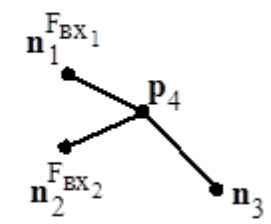
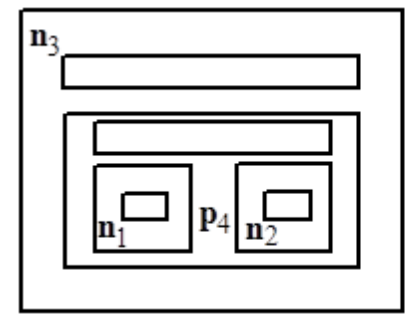
- много источников питания, что неприемлемо для сверхбольших интегральных схем,
- много резисторов, в транзисторной схемотехнике требующих дополнительных изолирующих областей и
- большая площадь, занимаемая на кристалле, т.к. в качестве диодов в интегральных схемах используется обычный транзистор с закороченным база-коллекторным переходом. Функцию диода выполняет база-эмитерный переход транзистора с минимальной паразитной емкостью перехода среди двух его переходов (если транзистор имеет нормальную, а не инверсную структуру) и минимальным сопротивлением полупроводниковой n области,
- площадь элемента находится в сильной зависимости от количества его входов, т.к. в схеме ДТЛ каждому новому входу соответствует новый транзистор.

Оптимизация элемента ДТЛ.

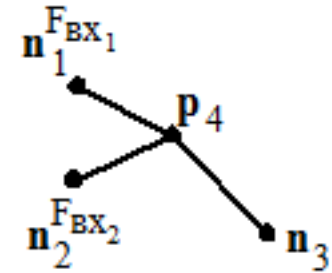
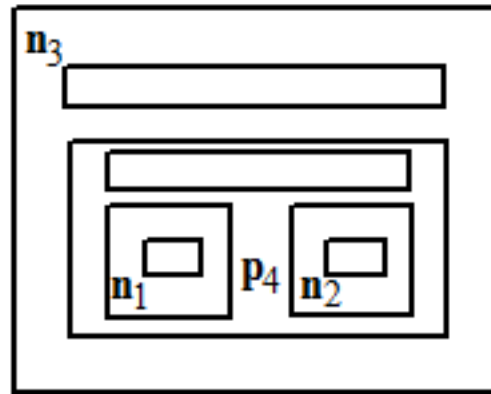
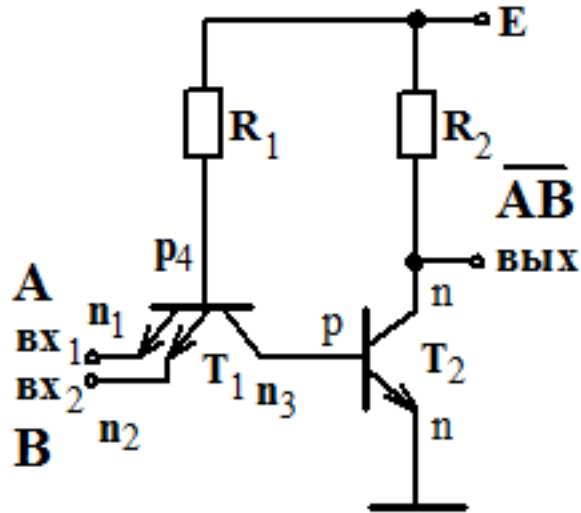
Преобразование ДТЛ в ТТЛ с простым инвертором



КТОП (Модуль 3)

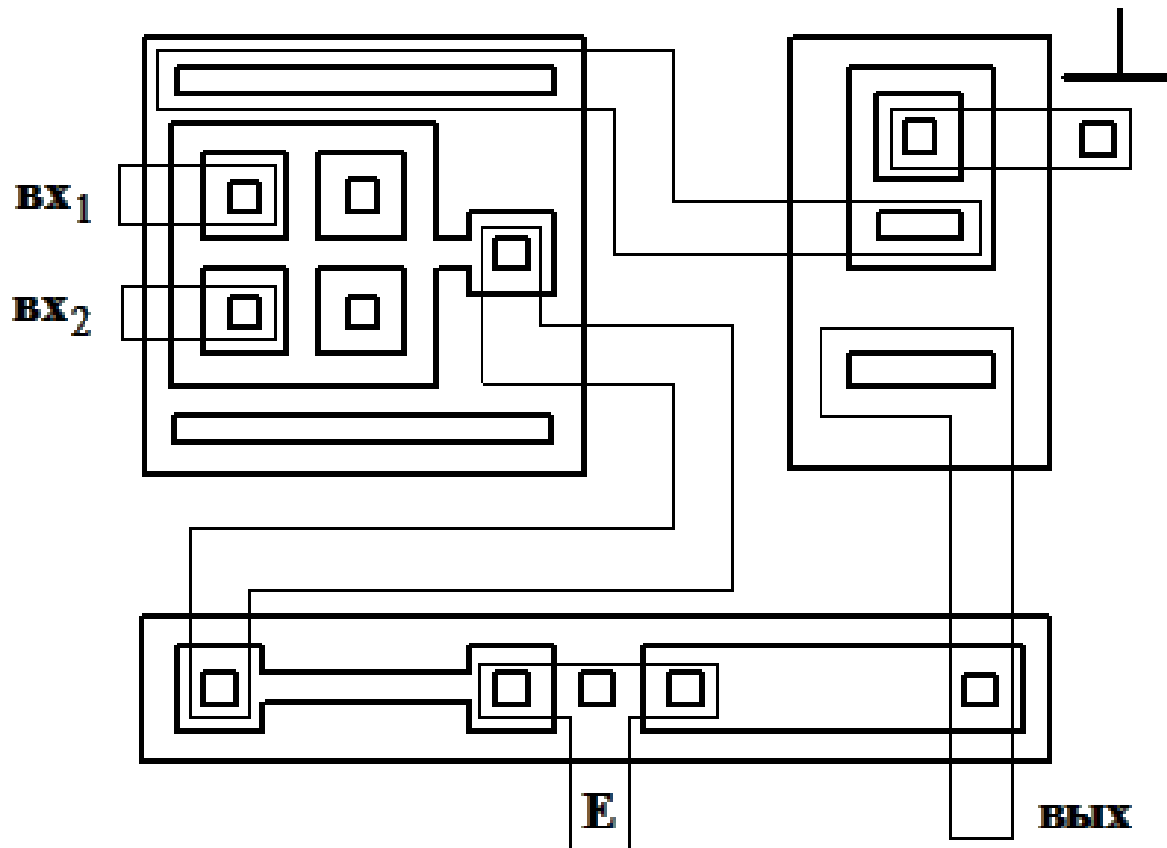


Анализ работы ТТЛ на 2 входа



A	B	T ₁	T ₂	ВЫХОД		
				без нагрузки	с нагрузкой	
0	0	бэ ₁ – отк. бэ ₂ – отк.	закрыт	E	E-IR ₂	1
0	1	бэ ₁ – отк. бэ ₂ – закр.	закрыт	E	E-IR ₂	1
1	0	бэ ₁ – закр. бэ ₂ – отк.	закрыт	E	E-IR ₂	1
1	1	бэ ₁ – закр. бэ ₂ – закр.	насыщен	u _{кэп}	u _{кэп}	0

Топология ТТЛ с простым инвертором



Достоинства и недостатки ТТЛ с простым инвертором

Достоинства	Недостатки
Один источник питания	Уменьшился запас помехоустойчивости
Уменьшилось количество сопротивлений	Низкая нагрузочная способность (порядка 3-4). Практически не может применяться в больших схемах
Уменьшилась площадь элемента	Существует паразитный транзистор
Быстродействие улучшилось	Много резисторов

