

«Разработка вычислительных систем» (РВС)

для образовательной программы 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

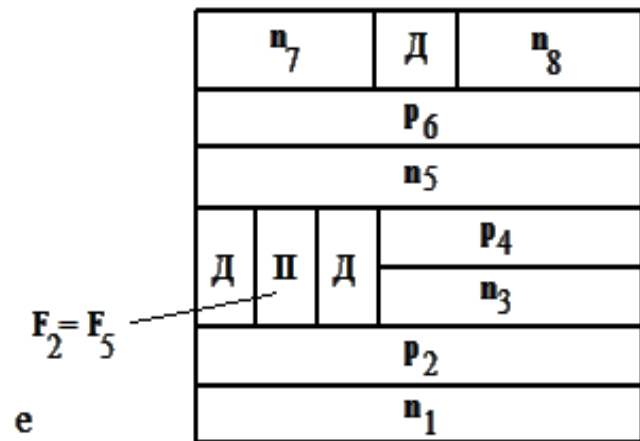
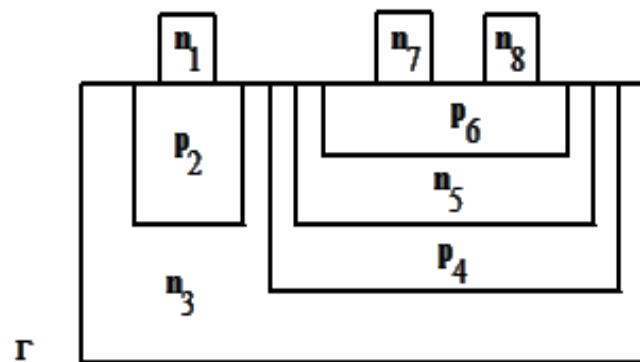
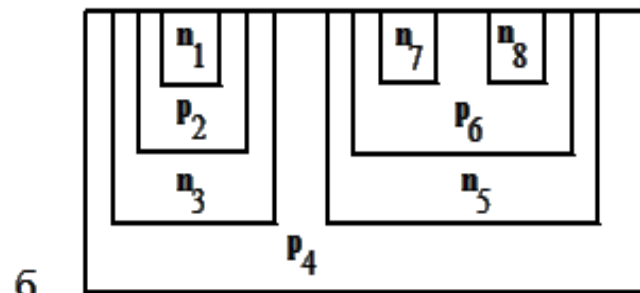
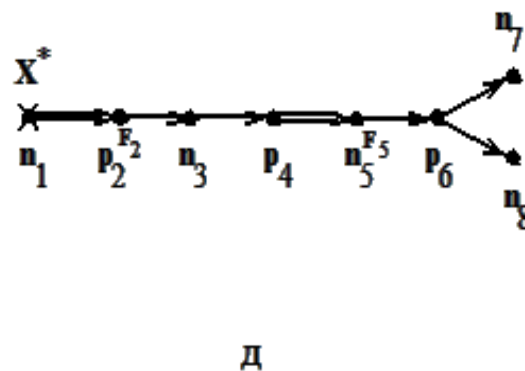
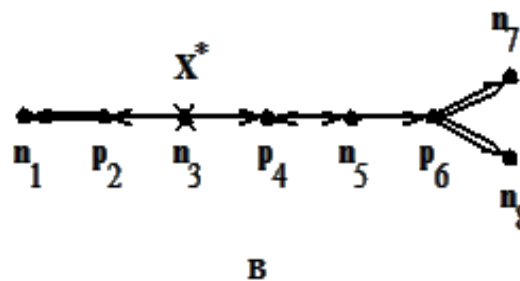
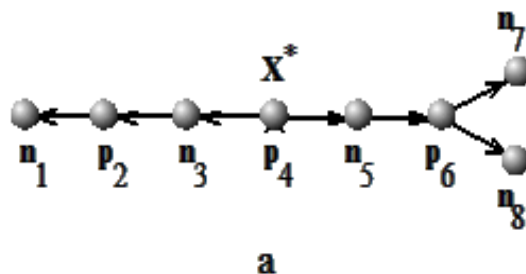
Лекция 7

Лектор

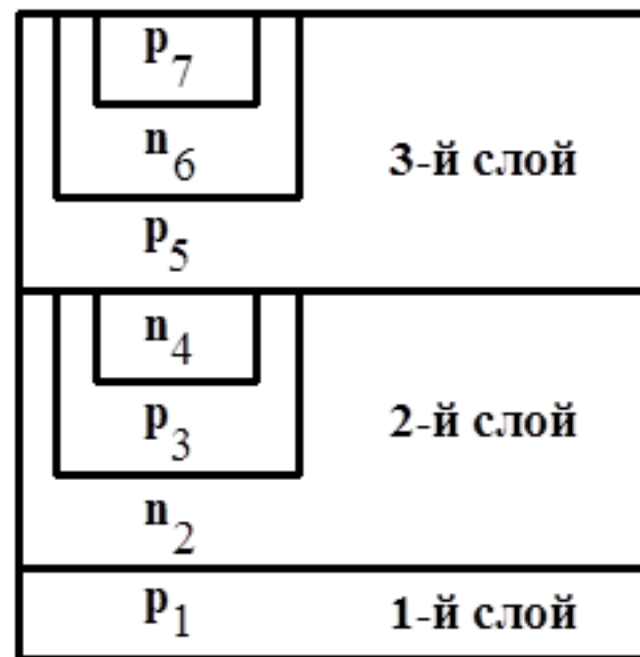
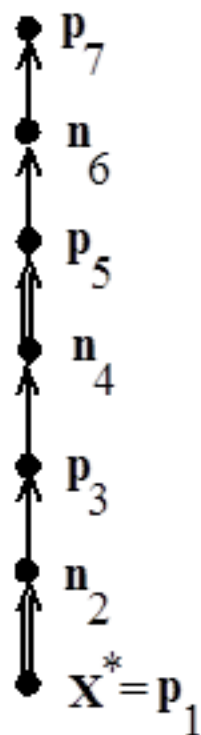
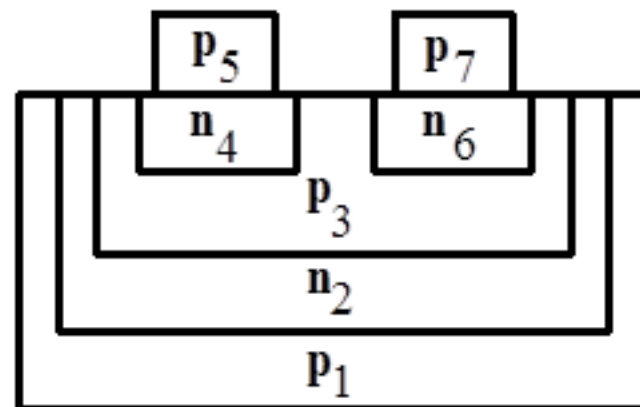
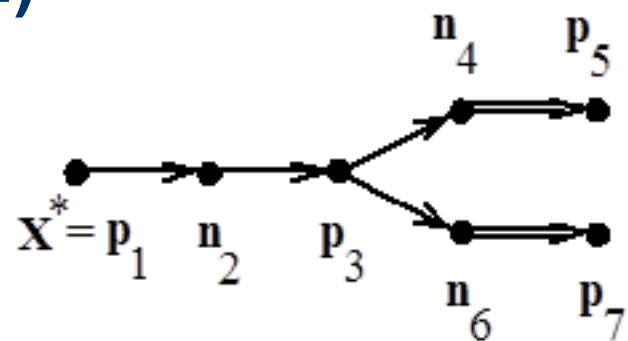
Трубочкина Надежда Константиновна,
д.т.н., профессор, ntrubochkina@hse.ru

ГЕНЕРАЦИЯ СТРУКТУР ПО ГРАФОВЫМ МОДЕЛЯМ

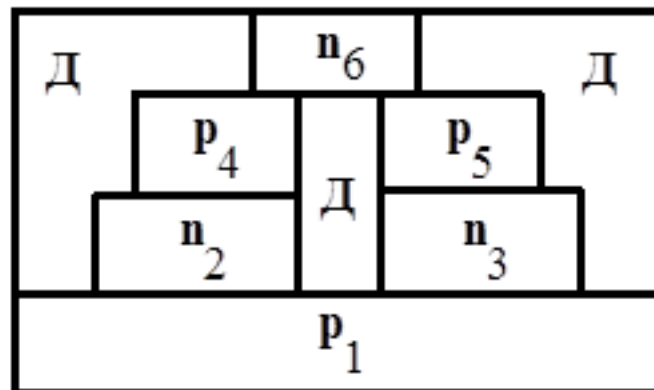
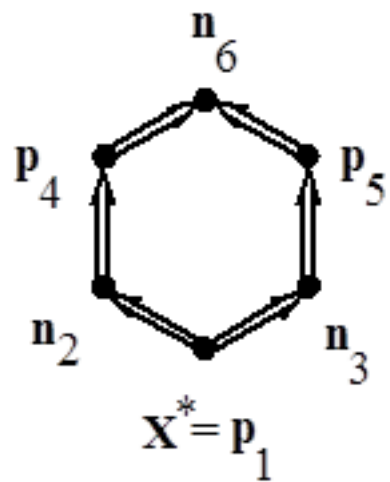
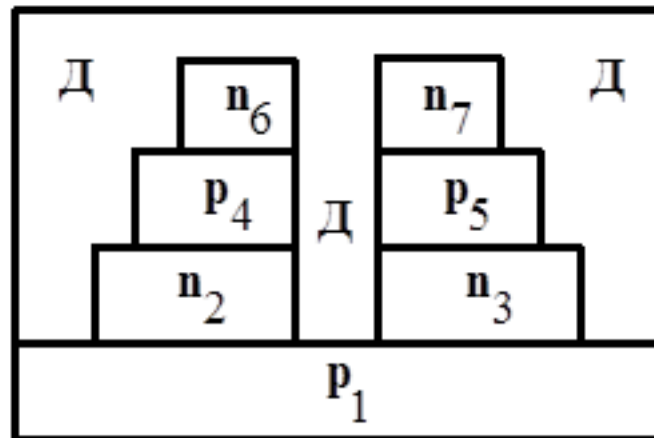
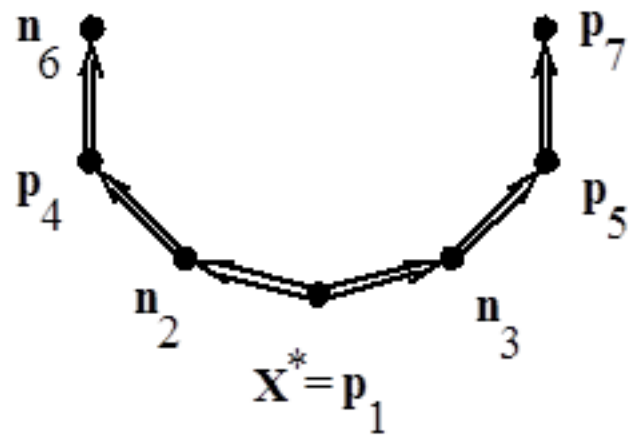
Структурные формулы – модели переходных элементов в пространстве (1)



(2)



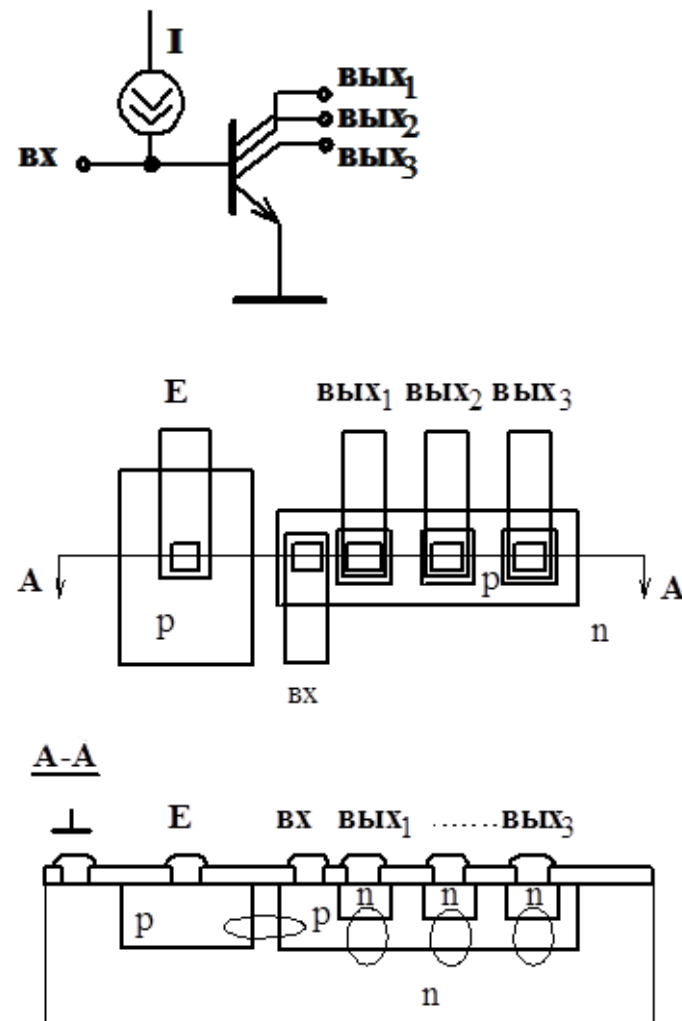
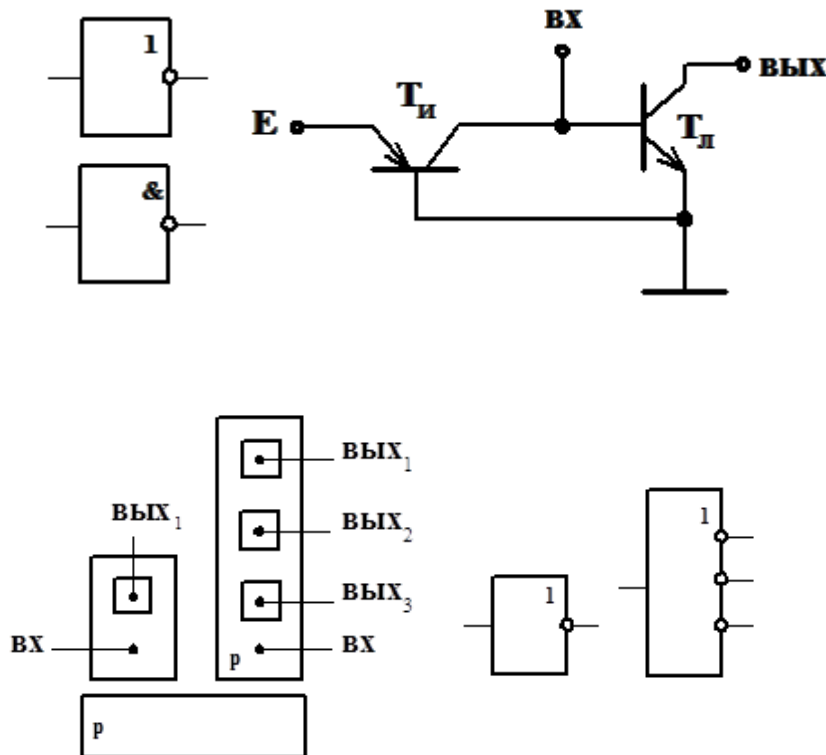
(3)



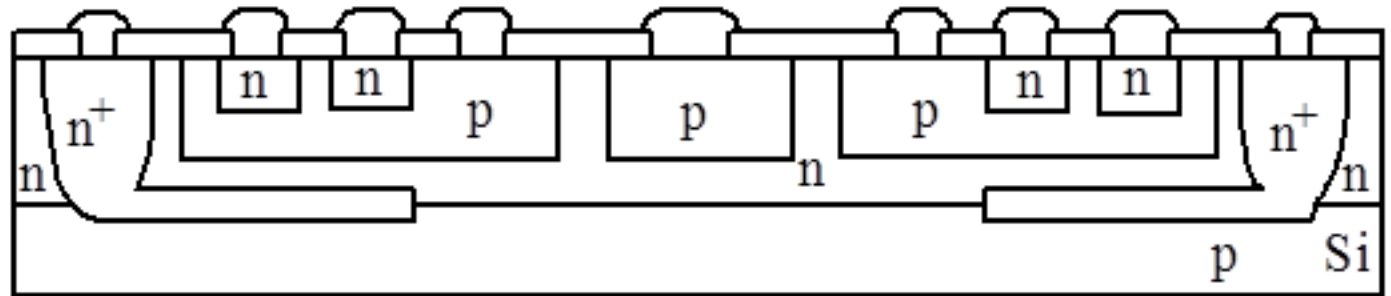
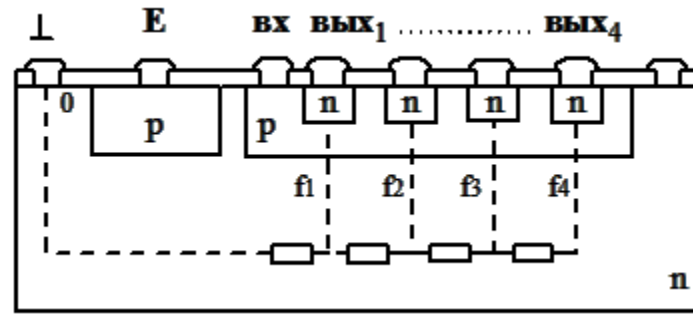
Реализации переходных схем на базе инжекционного инвертора

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

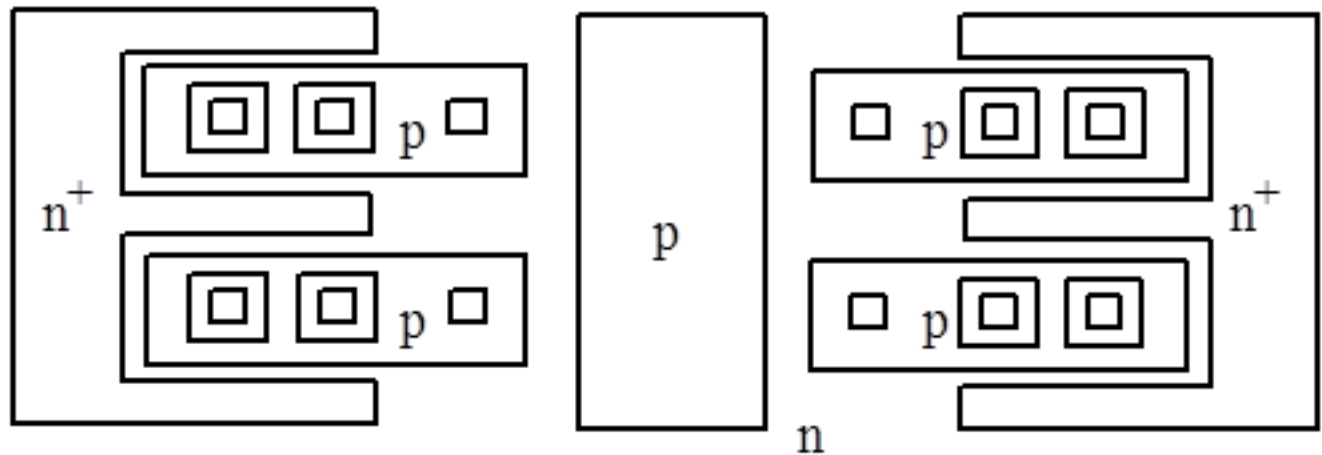
N=1



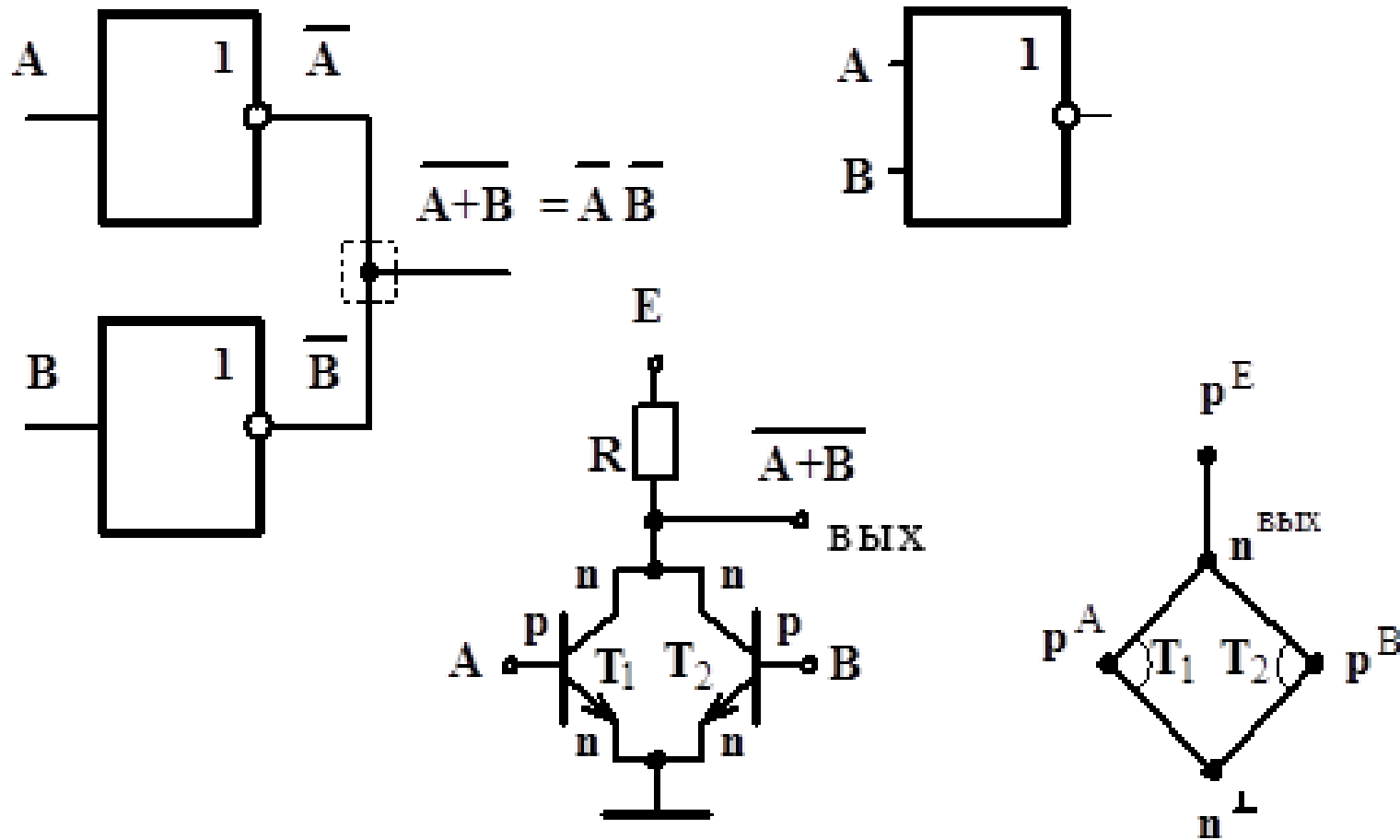
Недостаток



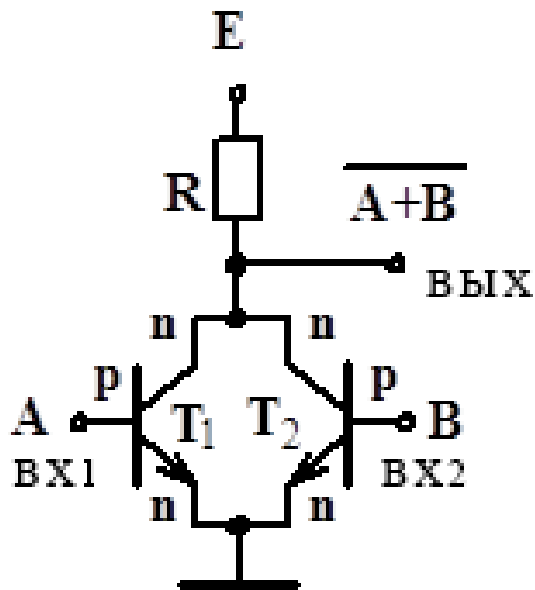
Решение



Инжекционный элемент ИЛИ-НЕ

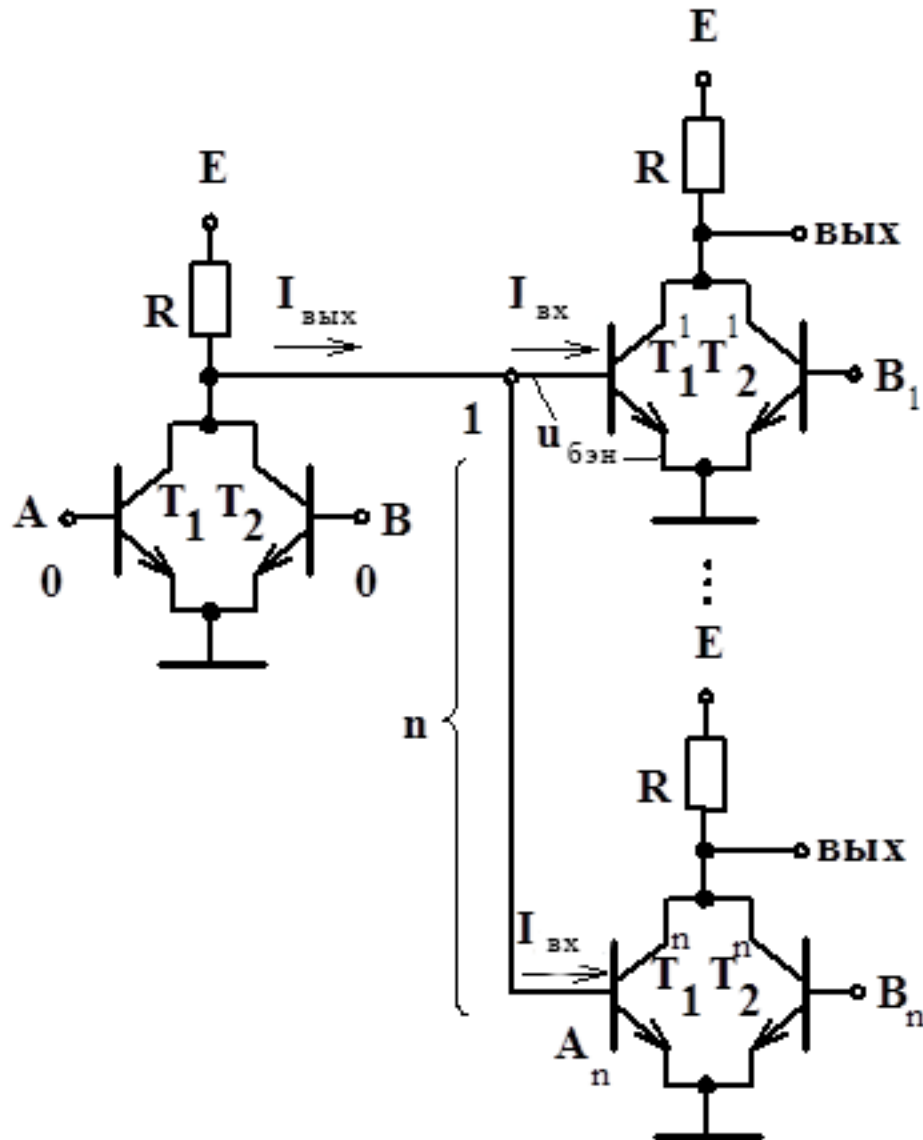


Работа элемента ИЛИ-НЕ (без нагрузки)



| 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



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

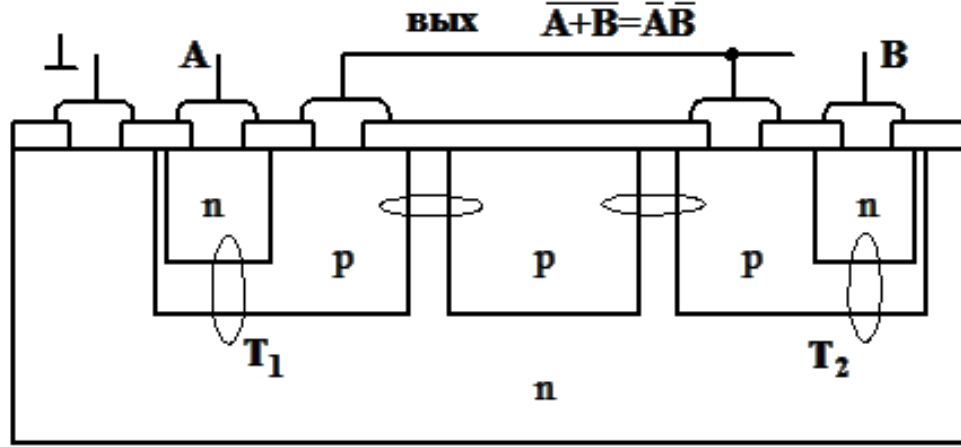
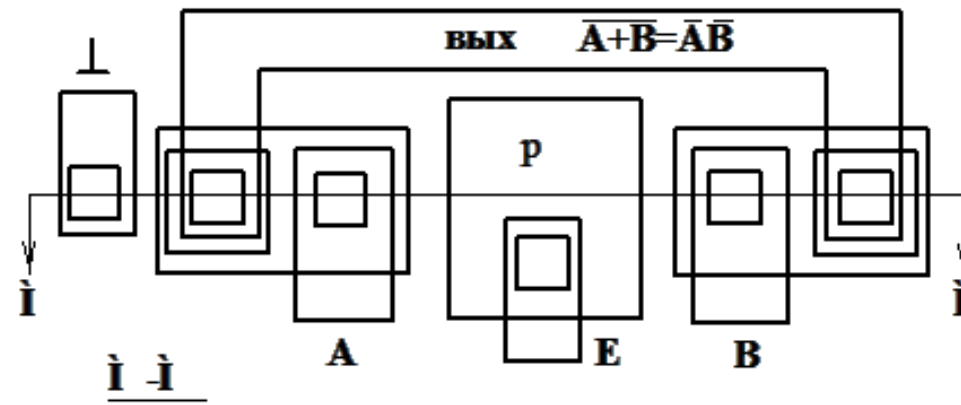
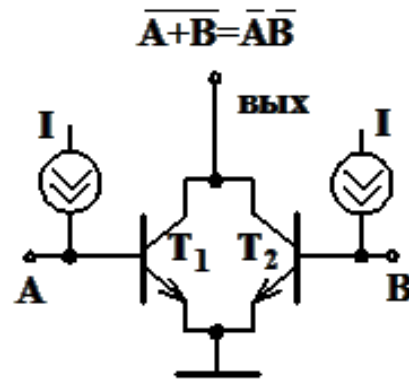
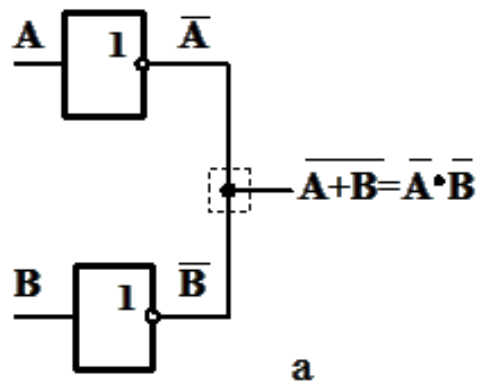
Недостаток (-)

$$U^1 = E - \left. \begin{array}{c} \uparrow \\ nI_{\text{вх}} R \\ \downarrow \end{array} \right| U_{\text{бэ}}$$

(-) В транзисторной схемотехнике избыточен по областям и соединения

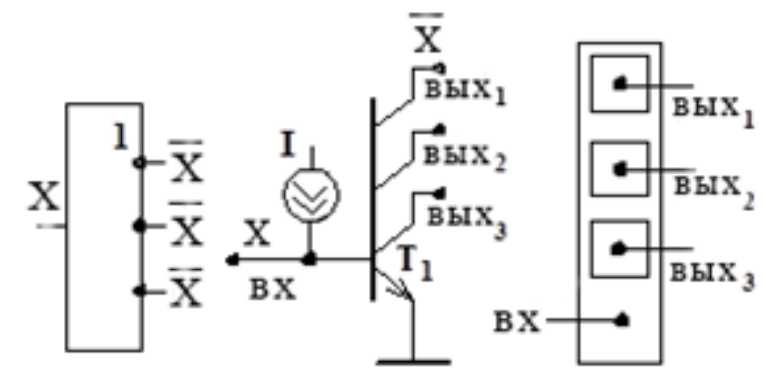
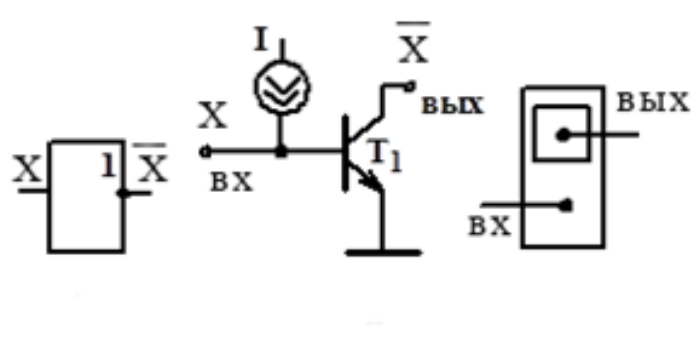
Достоинство НСТЛ: т.к. реализует логическую функцию ИЛИ-НЕ, является **функционально полным вентилем**, т.е. на нем можно реализовывать сколь угодно сложные логические схемы.

ИНЖЕКЦИОННЫЙ ВЕНТИЛЬ ИЛИ-НЕ

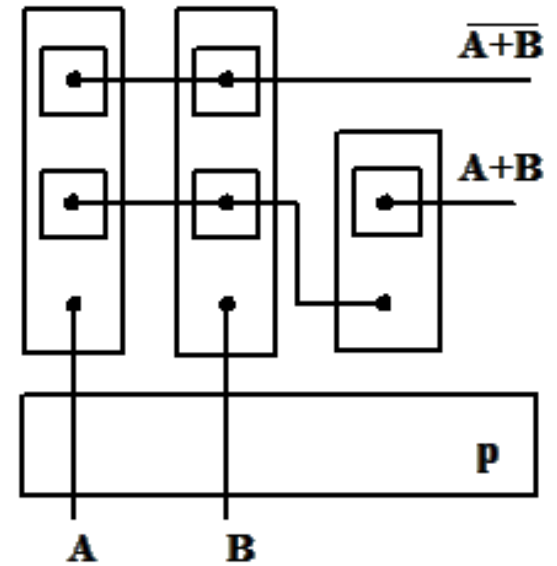
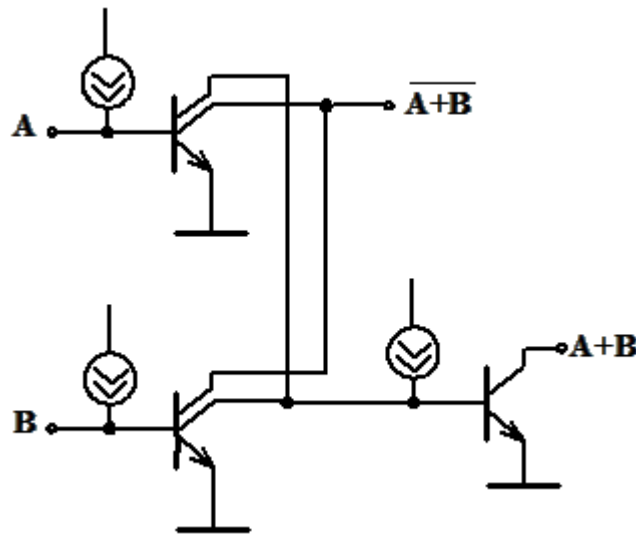
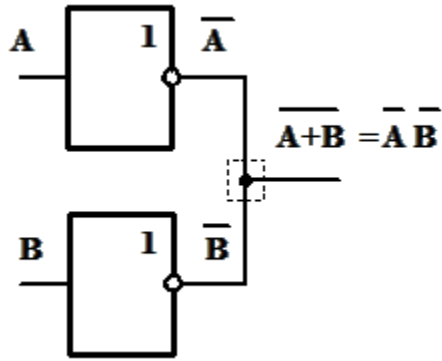


Схемотехника инжекционных схем

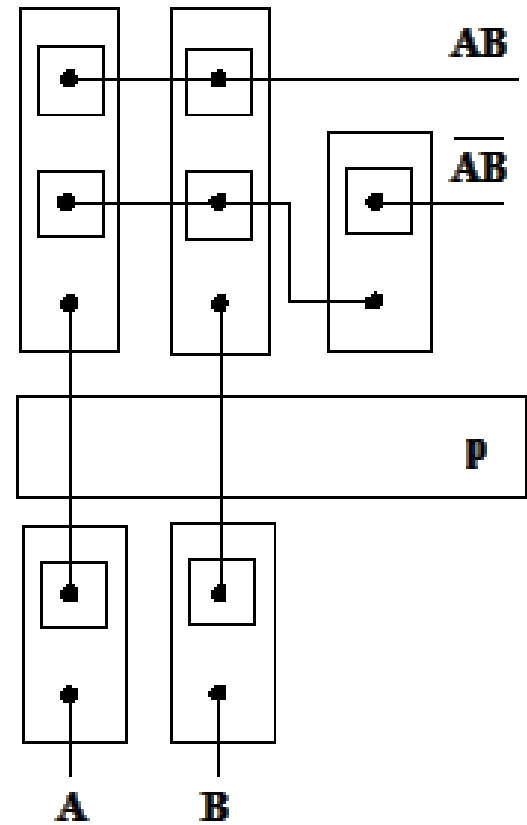
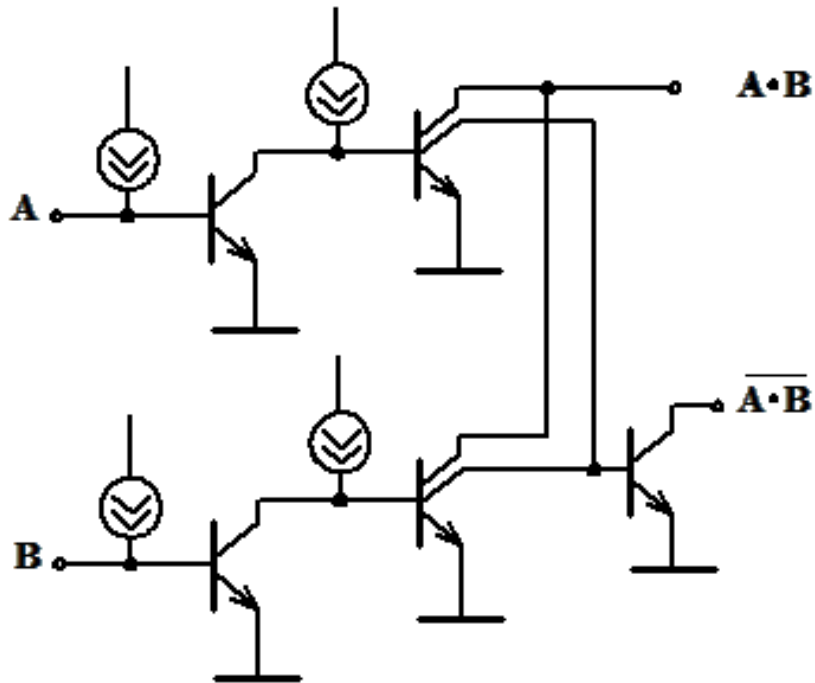
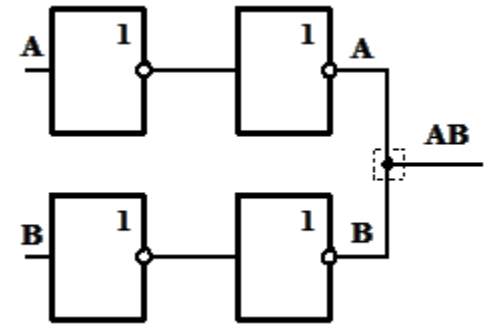
- Логический базис НЕ-Ми
- Базовая схема НЕ



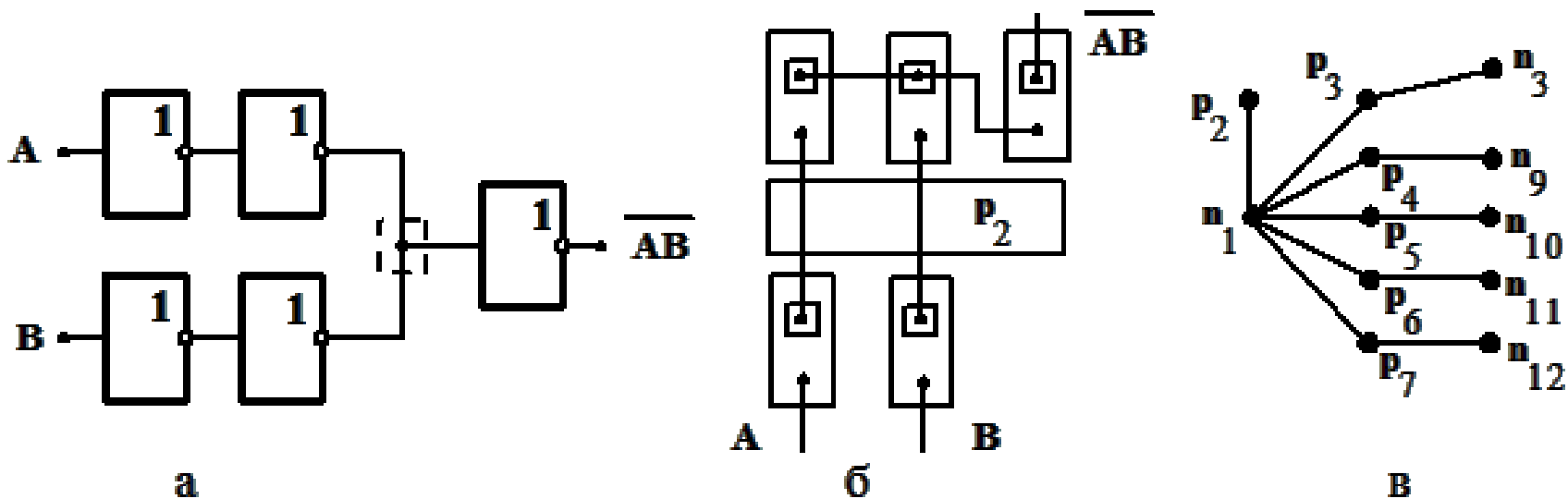
Инжекционная схема ИЛИ-НЕ/ИЛИ



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

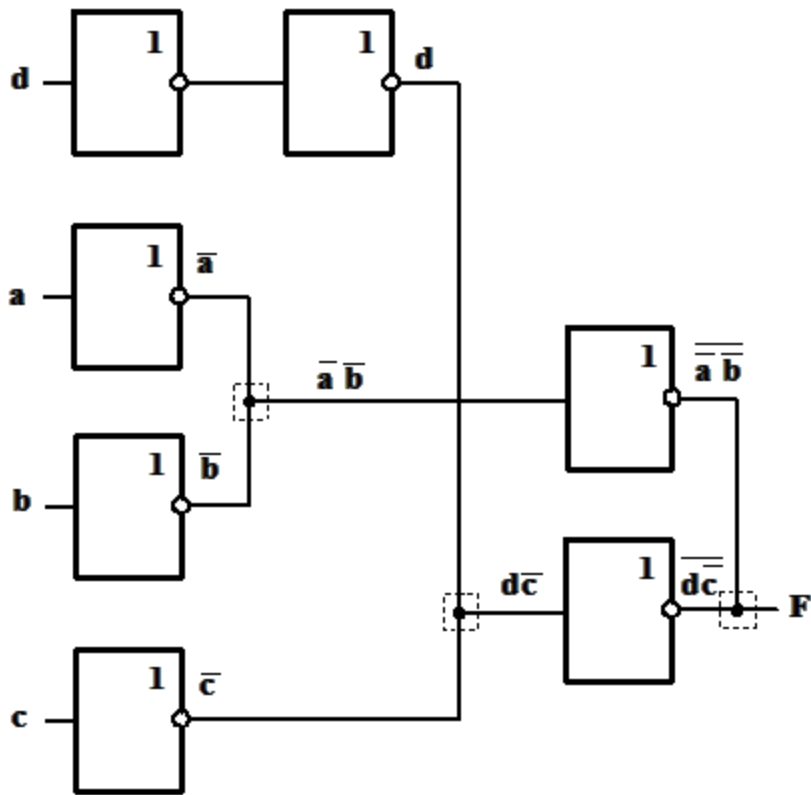
$$\text{МКНФ}(\overline{\overline{\overline{F}}})$$

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



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

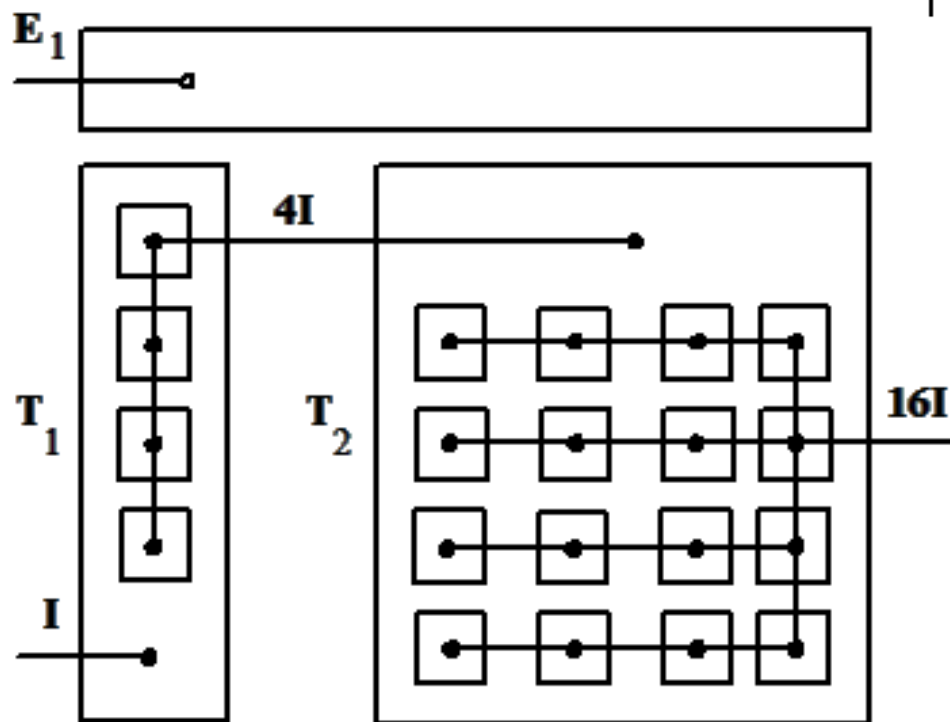
$$\overline{\overline{(a + b)(c + \bar{d})}} =$$

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

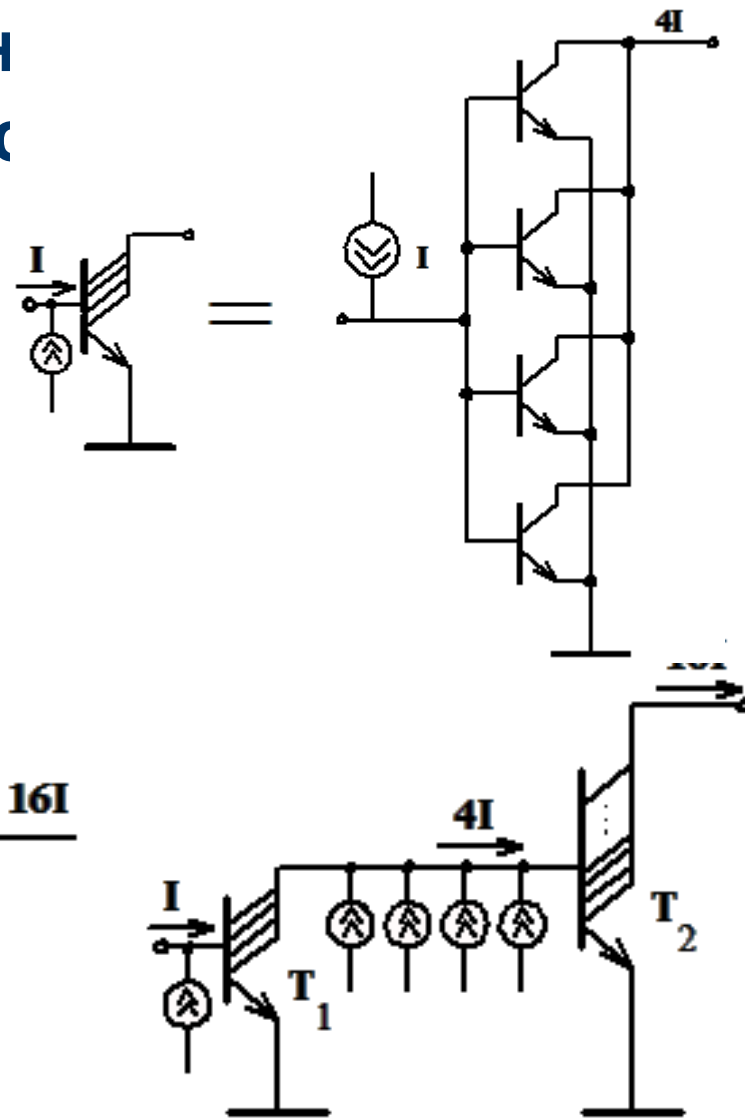
$$\overline{\overline{(a + b)} \overline{\overline{cd}}} =$$

$$\overline{\overline{(a + b)} \overline{cd}}$$

Другие типы инъекцион Специальные схемы. Ус

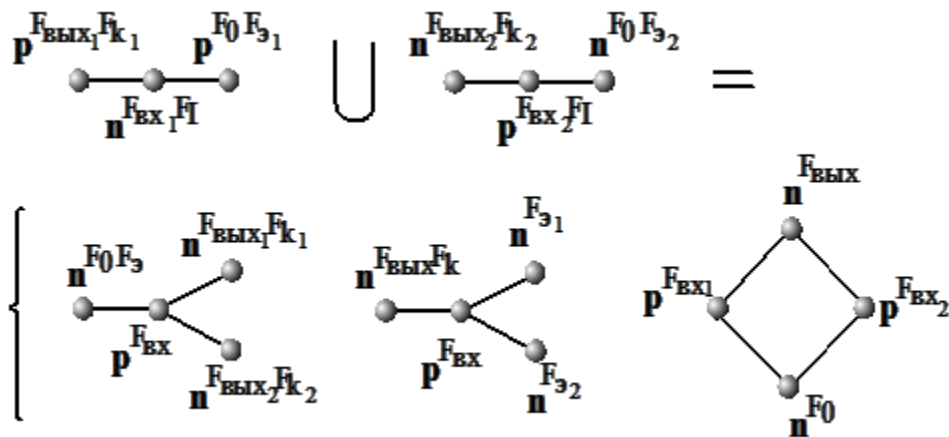
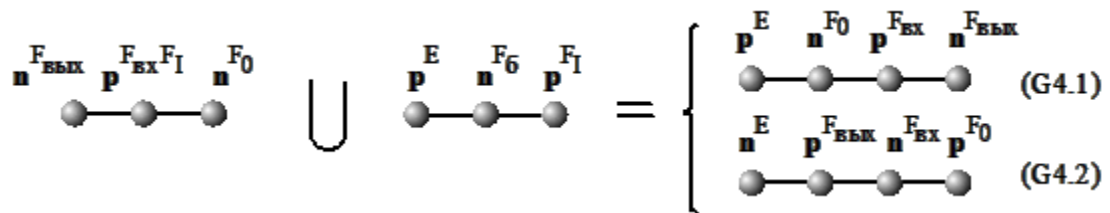
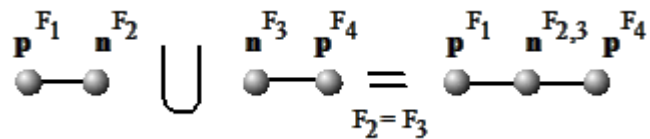


а

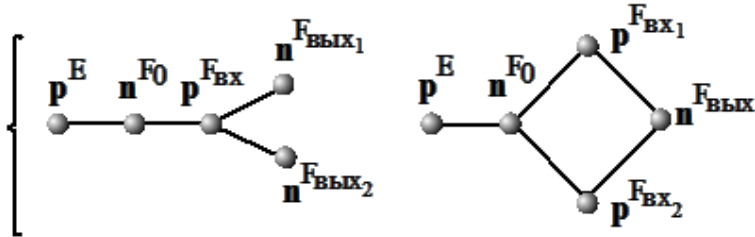


б

Уравнения синтеза моделей N=3, N=4

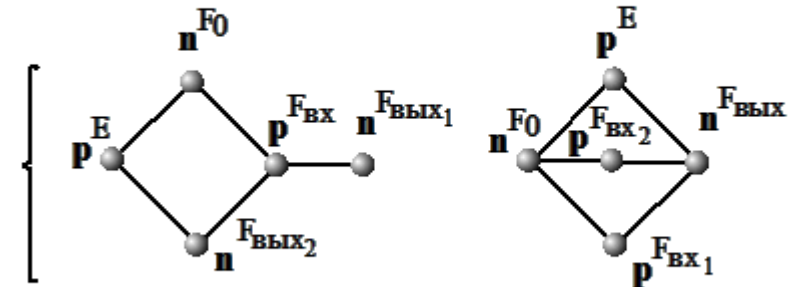


Уравнения синтеза моделей N=5



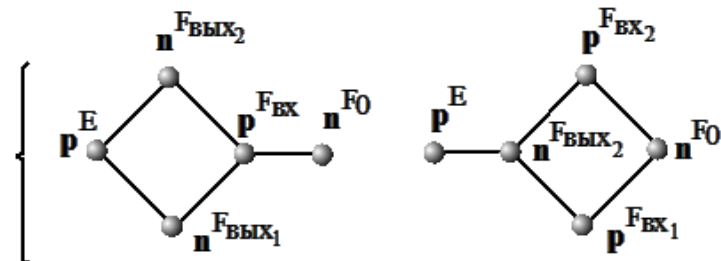
НЕ-И

ИЛИ-НЕ



НЕ-И

ИЛИ-НЕ

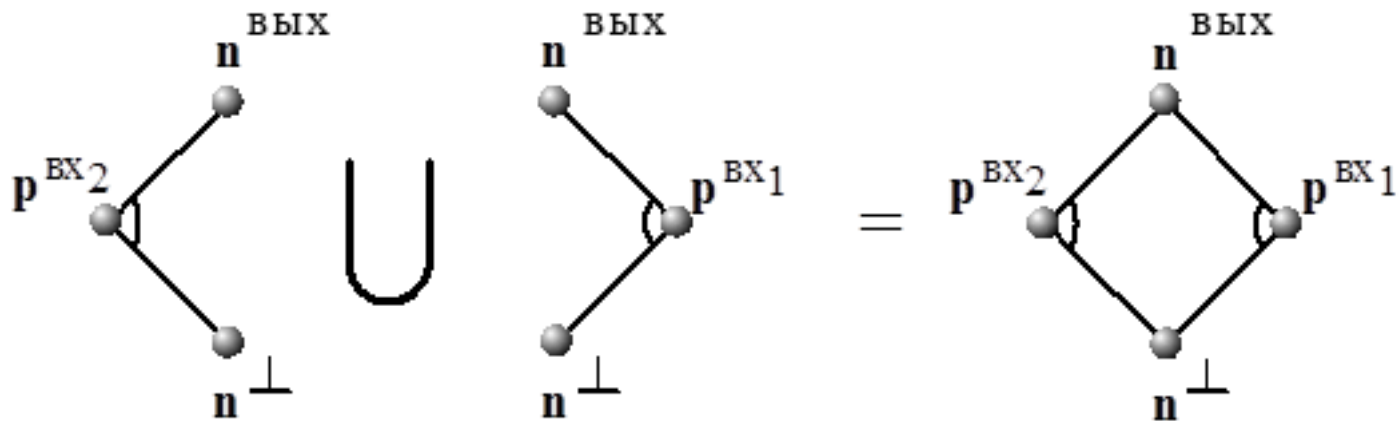


НЕ-И

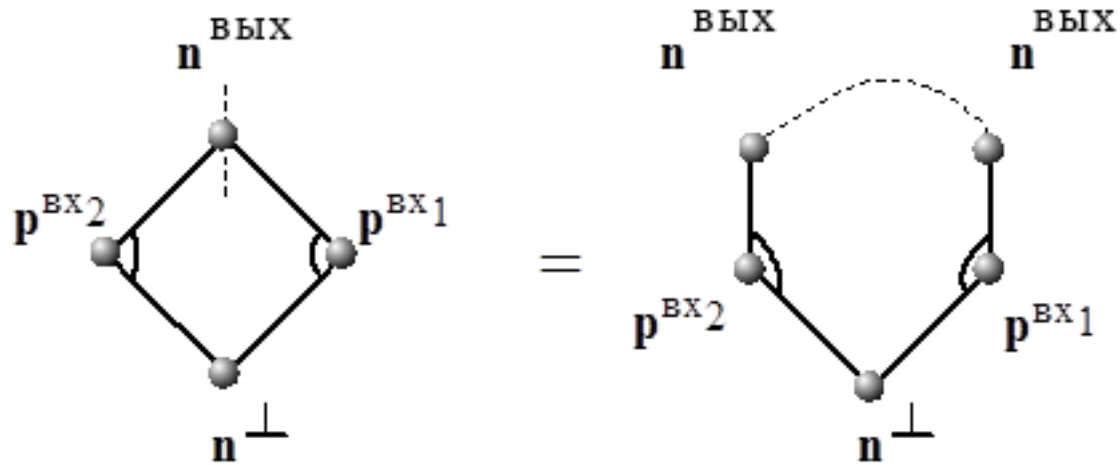
ИЛИ-НЕ

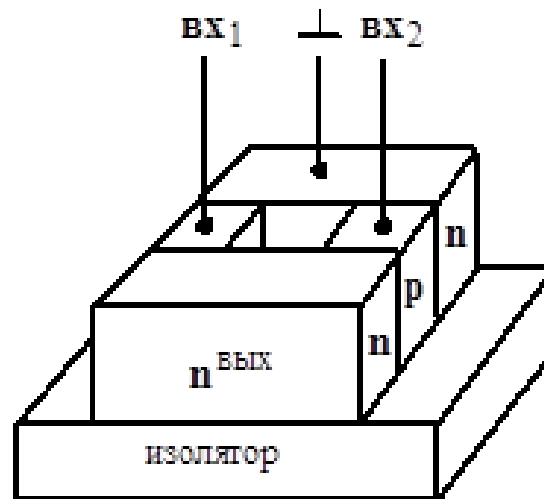
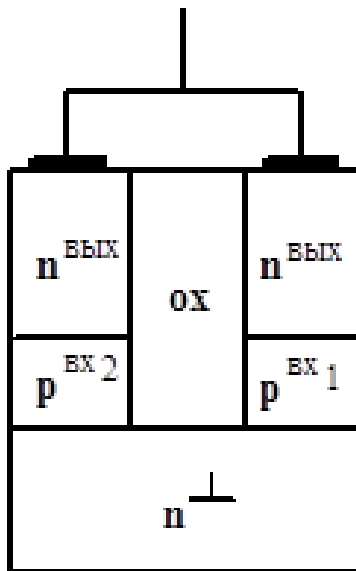
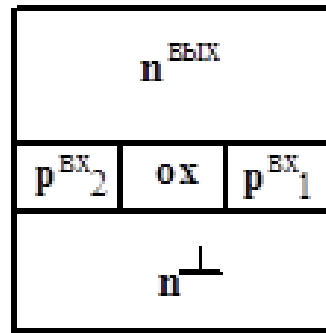
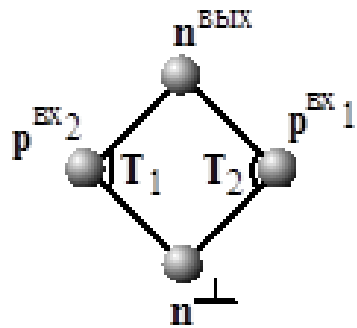
Пример проектирование схемы N=4 в переходной (интегральной) схемотехнике

1-й этап. Синтез модели



Приведение оптимальной модели к модели для эпитаксиально-планарной технологии

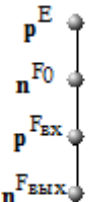
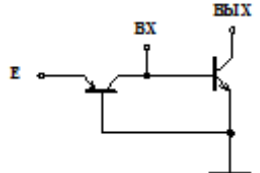
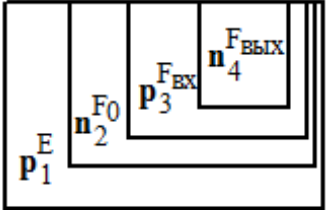
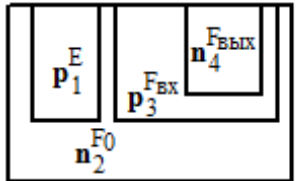




**Синтез
интегральной
структуры
оптимальной
модели (с
циклом
переходов)**

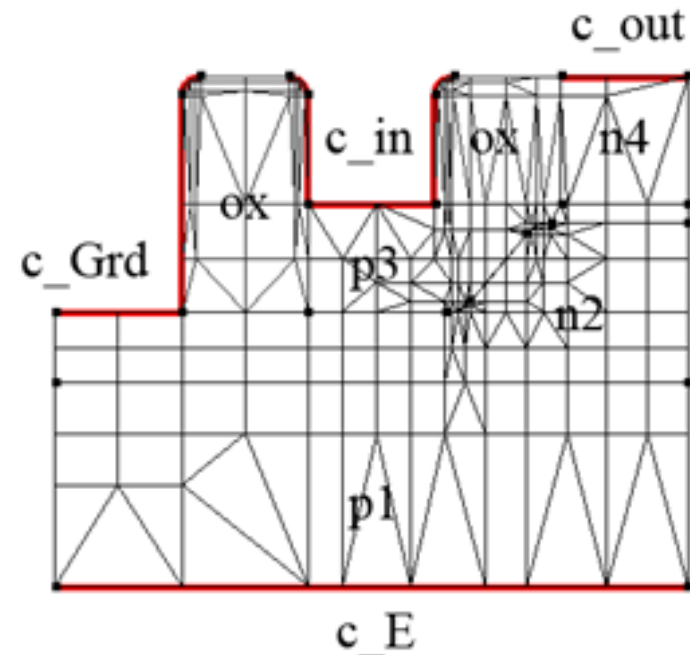
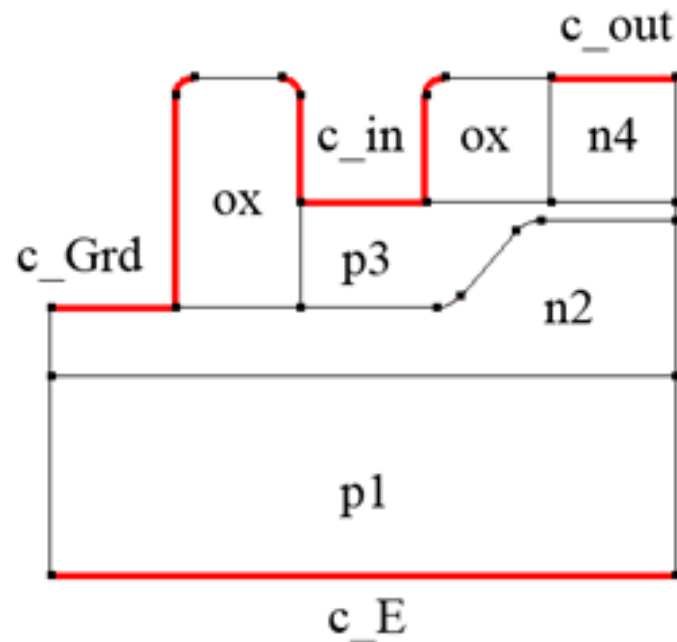
Генерация структур инжекционного инвертора N=4

Часть интегральных структур инжекционных инверторов с математической моделью G4.1

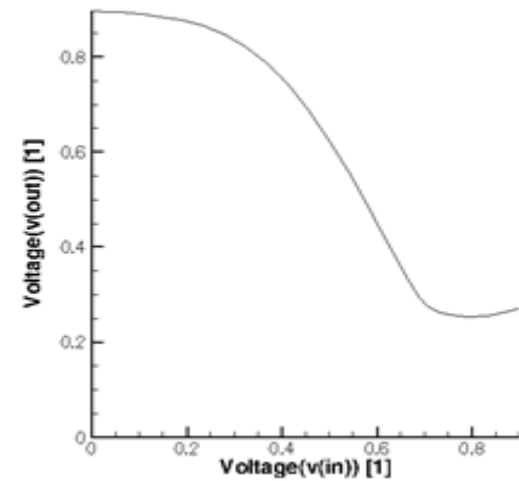
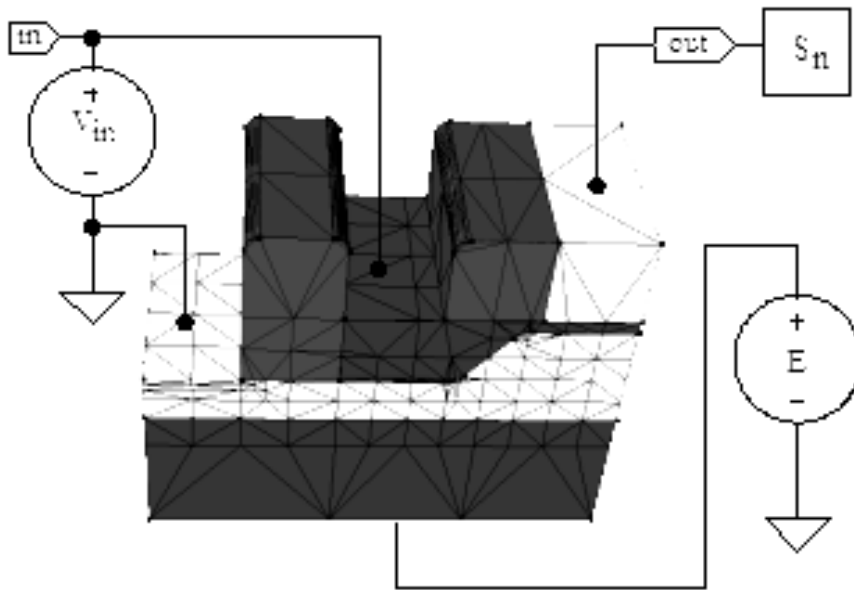
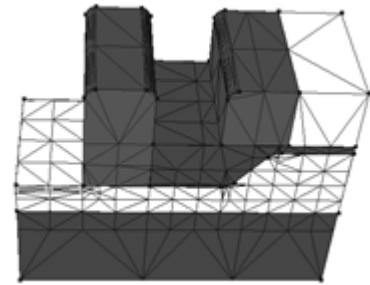
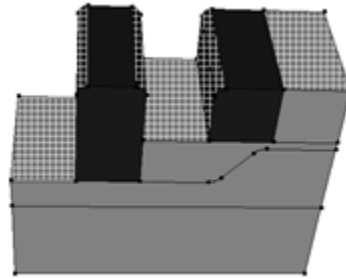
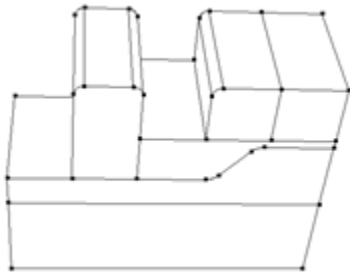
| Математическая модель ИИ | Принципиальная схема в транзисторной схемотехнике | Структурная формула ФИЭ | Интегральная структура ФИЭ | р-п-р транзистор | п-р-п транзистор | Примечание | Номер ФИЭ |
|---|---|---|--|-------------------------|-------------------------|------------|-----------|
| 1 | 2 | 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

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



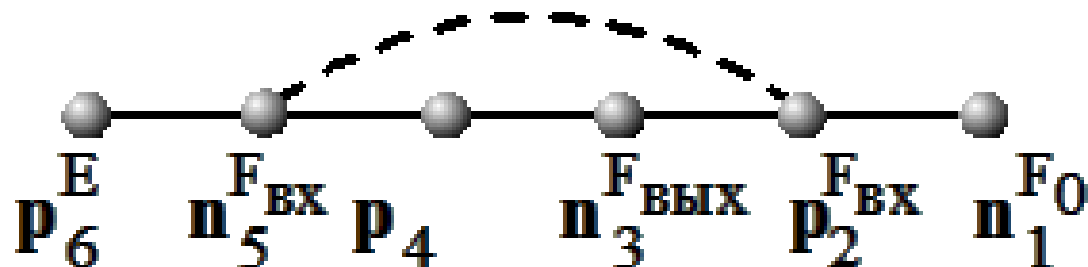
Физическая наноструктура моделируется в составе электрической схемы



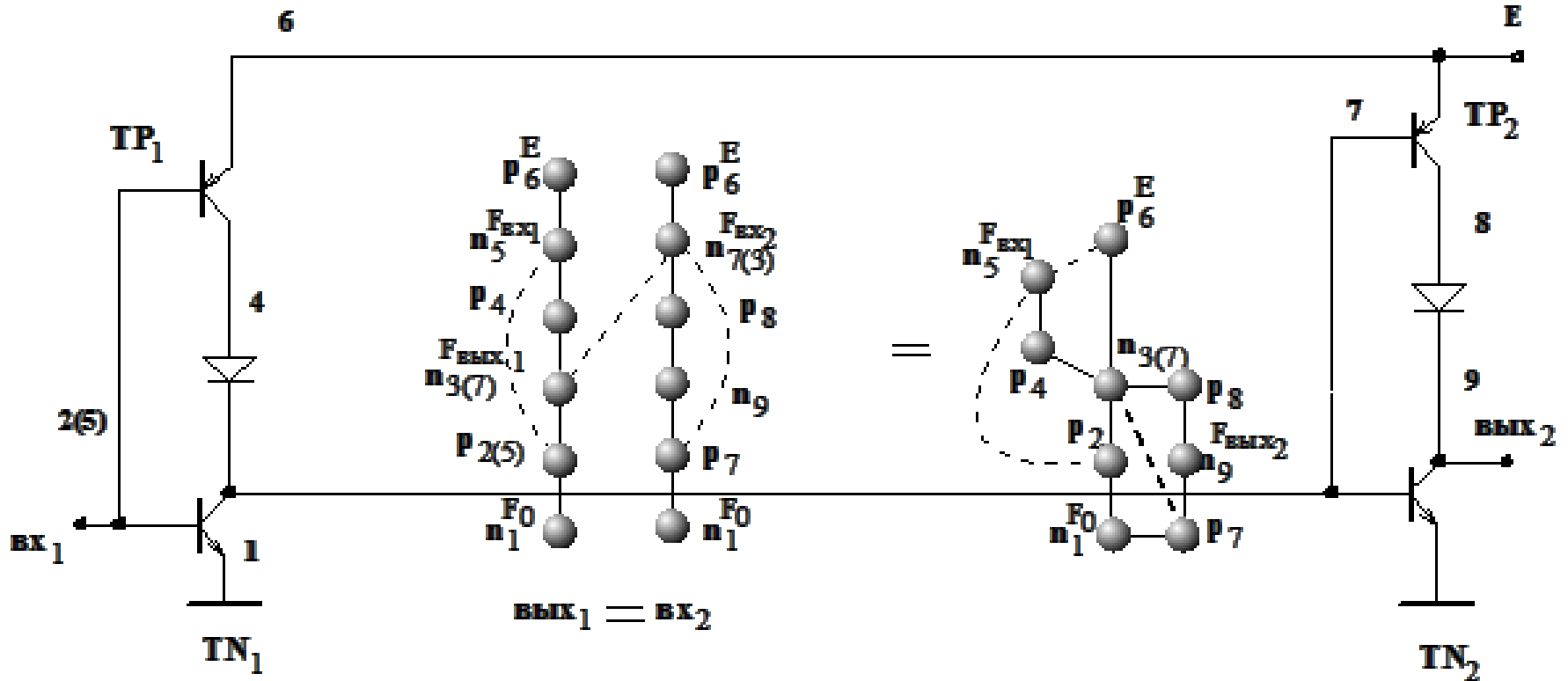
Другие инверторы переходной схемотехники (N=5, N=6). Синтез инверторов (N=5)

- 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

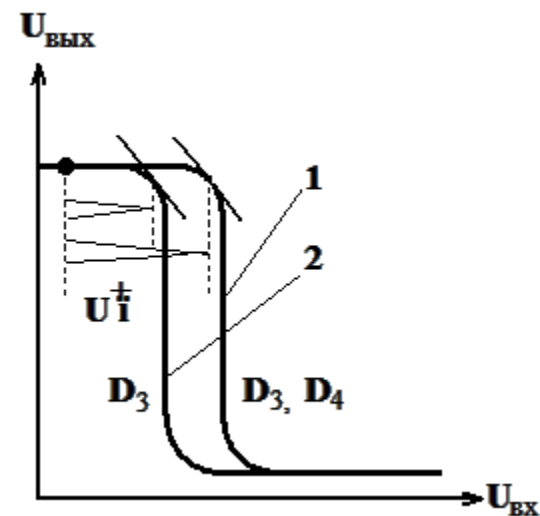
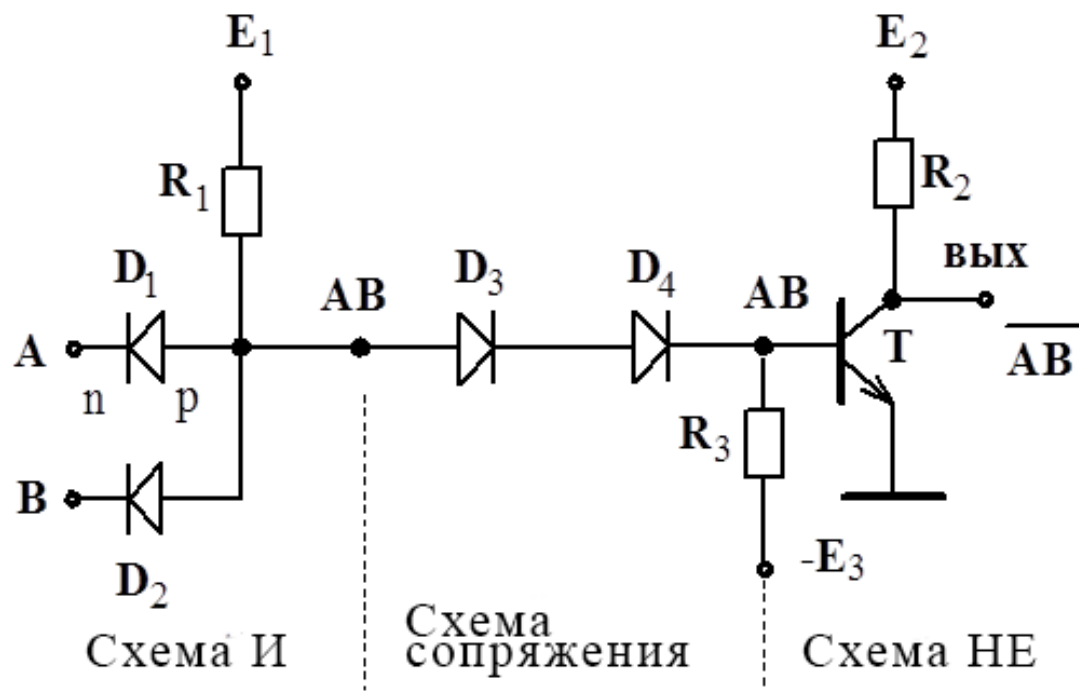


Функциональная интеграция элементов в СБИС



РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИИ И-НЕ В ТРАНЗИСТОРНОЙ И ПЕРЕХОДНОЙ СХЕМОТЕХНИКАХ

Диодно-Транзисторная Логика (ДТЛ)



Достоинства и недостатки ДТЛ

Достоинства:

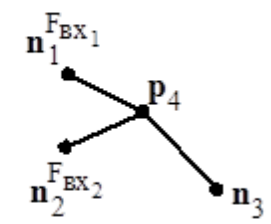
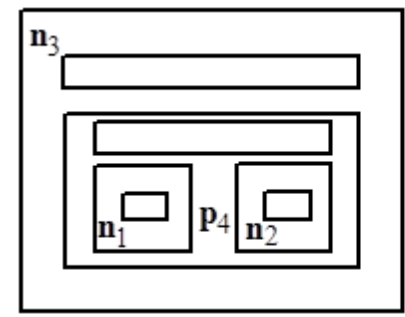
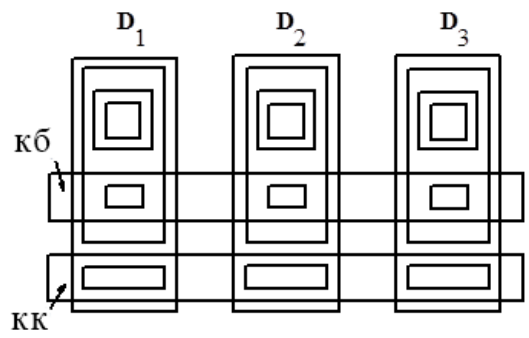
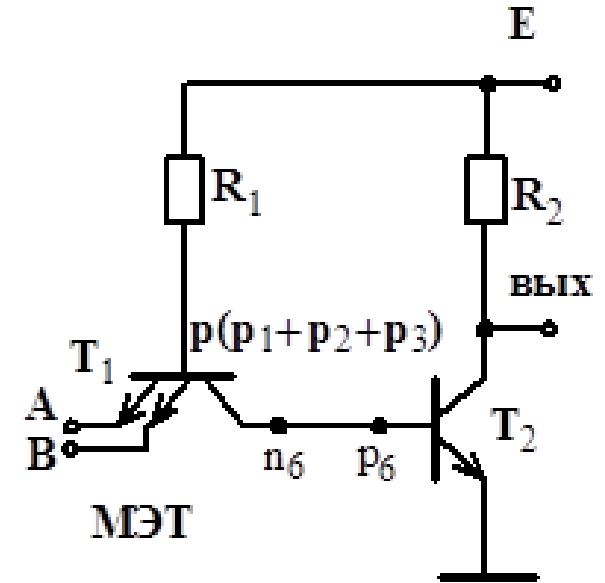
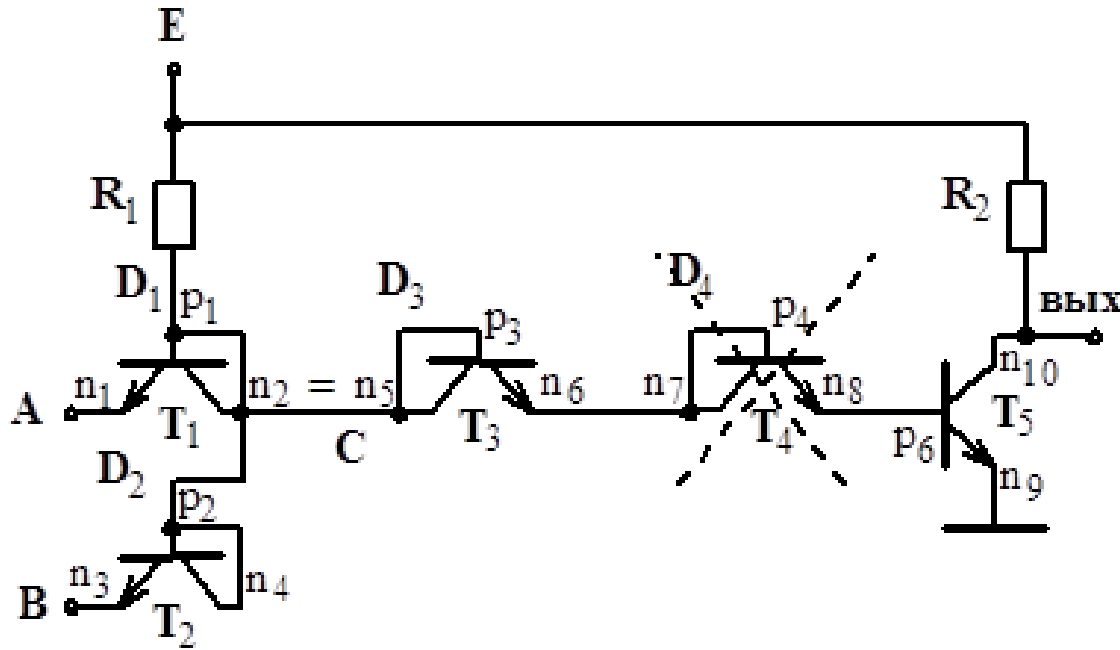
- большой запас помехоустойчивости по положительной помехе при наличии двух диодов в схеме сопряжения и
- высокая, в сравнении с МОП и КМОП схемами радиационная стойкость.

Недостатки:

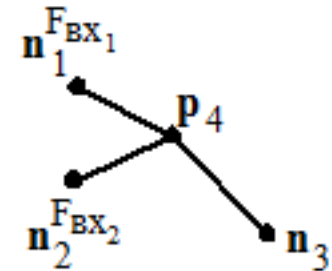
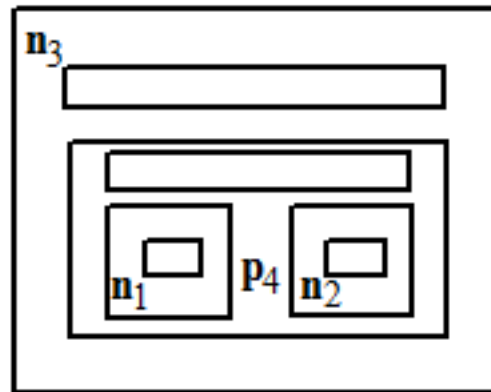
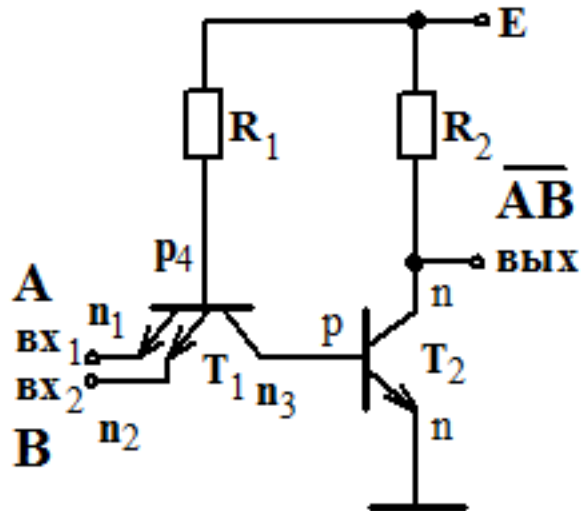
- много источников питания, что неприемлемо для сверхбольших интегральных схем,
- много резисторов, в транзисторной схемотехнике требующих дополнительных изолирующих областей и
- большая площадь, занимаемая на кристалле, т.к. в качестве диодов в интегральных схемах используется обычный транзистор с закороченным 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

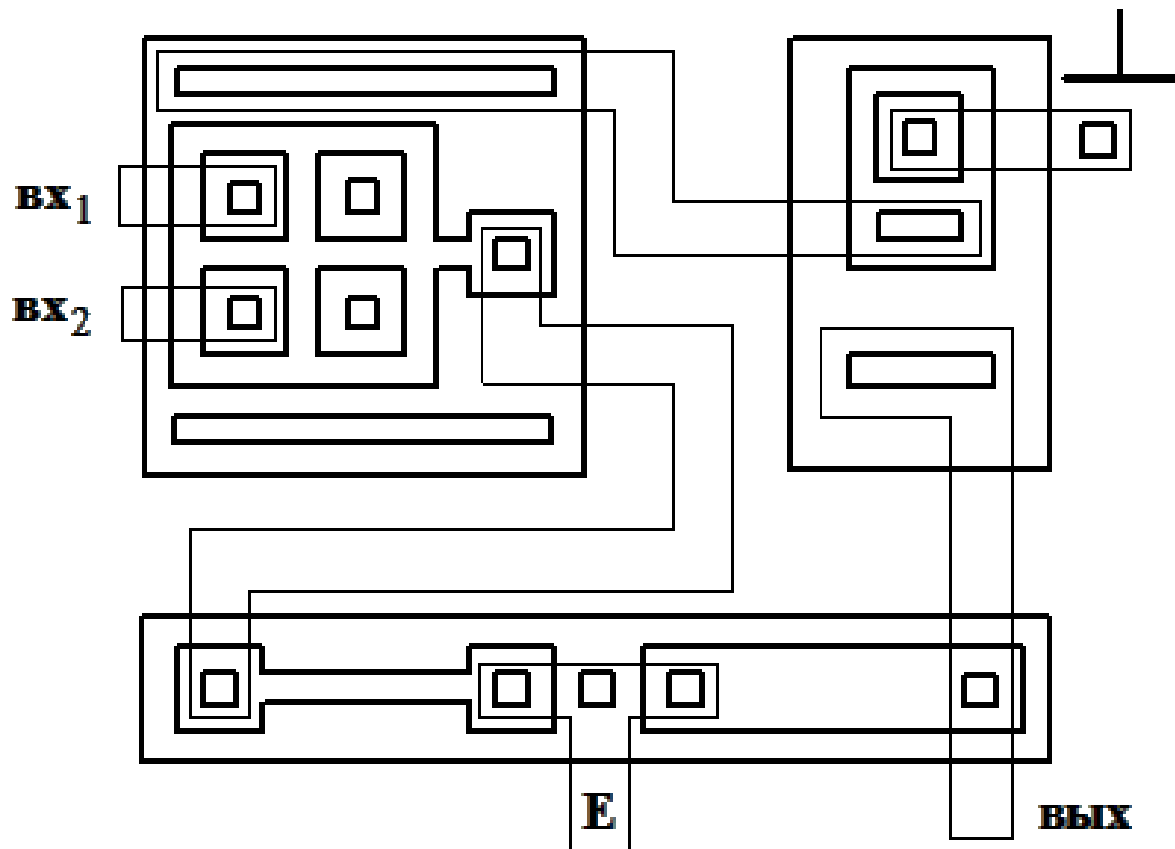


Анализ работы ТТЛ на 2 входа



| A | B | T_1 | T_2 | ВЫХОД | | |
|---|---|---|---------|--------------|-------------|---|
| | | | | без нагрузки | с нагрузкой | |
| 0 | 0 | $бэ_1 - \text{отк.}$ $бэ_2 - \text{отк.}$ | закрыт | E | $E - IR_2$ | 1 |
| 0 | 1 | $бэ_1 - \text{отк.}$ $бэ_2 - \text{закр.}$ | закрыт | E | $E - IR_2$ | 1 |
| 1 | 0 | $бэ_1 - \text{закр.}$ $бэ_2 - \text{отк.}$ | закрыт | E | $E - IR_2$ | 1 |
| 1 | 1 | $бэ_1 - \text{закр.}$ $бэ_2 - \text{закр.}$ | насыщен | $u_{кЭН}$ | $u_{кЭН}$ | 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 |

