

621.38

Б43



М.А. Булушева, В.Д. Попов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Москва 2010

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

**Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»**

М.А. Булушева В.Д. Попов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

**Методические рекомендации к семинарским занятиям
и курсовому проектированию**

Москва 2010

УДК 621.382.049.77(07)

ББК32.852я7

М 54

790387

Булужева М.А., Попов В.Д. Проектирование интегральных микросхем. Методические рекомендации к семинарским занятиям и курсовому проектированию. - М.: НИЯУ МИФИ, 2010. - 56 с.

Пособие предназначено для студентов дневного и вечернего обучения, специализирующихся в области микроэлектроники. Включает задачи для семинарских занятий, методику расчёта и варианты заданий на курсовой проект по дисциплине «Проектирование интегральных микросхем».

Рецензент проф. Ю.А. Волков

Рекомендовано редакционным советом НИЯУ МИФИ в качестве методического пособия

ISBN 975-5-7262-1216-6

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2010.

Редактор Н.И. Егорова

*Подписано в печать 06.11.09. Формат 60*84 1/16*

Печ. л. 3.5. Уч.-изд. л. 3.5.

№074-1. Тираж 150 экз. Заказ № 48.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Типография НИЯУ МИФИ.

115409, Москва, Каширское шоссе, 31.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Семинары по расчёту интегральных микросхем (ИМС)	
Семинар 1. Расчёт рабочих слоёв твердотельных ИМС.....	5
Семинар 2. Расчёт параметров МОП транзистора (МОПТ).....	6
Семинар 3. Расчёт КМОП инвертора и проектирование его топологии.....	7
Семинар 4. Расчёт биполярного транзистора.....	9
Семинар 5. Расчёт многосигнального усилителя на биполярном транзисторе.....	10
Курсовой проект на тему разработки КМОП ИМС	
1. График выполнения курсового проекта.....	12
2. Задание на курсовой проект.....	12
2.1 Основные блоки курсового проекта.....	12
2.2 Проектирование на основе кремния n-типа.....	13
2.3 Проектирование на основе кремния p-типа.....	15
3. Методика расчёта защитной цепочки.....	18
4. Методика расчёта гамма-процентного ресурса.....	22
Приложение 1. Варианты заданий на курсовой проект	23
Приложение 2. Общие данные для проектирования и расчётов	52
1. Назначение слоёв.....	52
2. Нормы технологического проектирования.....	53
3. Вертикальные размеры типовой структуры.....	54
4. Точность воспроизведения размеров.....	54
5. Электрофизические параметры типовой структуры.....	55
Список рекомендуемой литературы	56

Предисловие

Курс «Проектирование интегральных микросхем» содержит лекции и практические занятия. На 7-м семестре разрабатывается топология элементов интегральных микросхем (ИМС), а на 8-м семестре выполняется курсовой проект.

В данном курсе предлагаются **задачи для семинарских занятий** с индивидуальными исходными данными (в зависимости от номера студента в группе). При этом одна группа студентов проектирует элементы ИМС на основе технологии с базовым слоем (карманом) р-типа, а другая группа – на основе технологии с базовым слоем (карманом) п-типа. Это касается и курсового проекта.

Курсовой проект поможет закрепить знания, полученные в курсах «Основы микроэлектроники», «Технология ИМС», «Микросхемотехника» и «Проектирование ИМС». В процессе выполнения курсового проекта необходимо рассчитать параметры МОП транзисторов и защитной цепочки, разработать топологию микросхемы, проверить обеспечение требований по быстродействию и оценить гамма-процентный ресурс спроектированной ИМС. Кроме того, в курсовой проект включается оценка надёжности ИМС для индивидуальных условий эксплуатации (вид аппаратуры и температуры эксплуатации). Варианты заданий для курсового проектирования приведены в приложении 1.

В настоящих методических рекомендациях излагаются технические требования при проектировании стандартных ячеек БИС по КМОП-технологии и описания структур элементов, их электрические и технологические параметры, нормы проектирования (см. приложение 2) и технологический маршрут изготовления.

СЕМИНАРЫ ПО РАСЧЁТУ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Семинар 1. Расчёт рабочих слоёв твердотельных интегральных микросхем

Исходные данные:

- номер (№) исходных данных соответствует номеру в списке группы студентов.

Наименование параметра	Параметр	Вариант 1	Вариант 2
Концентрация примеси в эмиттерной области (области стока и истока), см^{-3}	$N_{S1} = 10^{19} \cdot \mathcal{N}_0$	p^+	n^+
Концентрация примеси в базовой области (области кармана), см^{-3}	$N_{S2} = 10^{16} \cdot \mathcal{N}_0$	n	p
Концентрация примеси в коллекторной области (подложке), см^{-3}	$N_{S3} = 10^{14} \cdot \mathcal{N}_0$	p	n
Плотность поверхностных состояний, см^{-2}	$N_{ii} = (9 - 0,3\mathcal{N}_0) \cdot 10^{11}$	p, n	p, n

- глубина залегания эмиттерного перехода $d_1 = 1 \text{ мкм}$,

- постоянная $d_{O2} = 0,964 \text{ мкм}$,

- коэффициент влияния поверхностных состояний

$$\alpha_{sn} = 2,8 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2, \alpha_{sp} = 1,9 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2,$$

- параметры аппроксимации при расчёте подвижности $m_n = 0,284$,

$$m_p = 0,245, \ln K_n = 17,37, \ln K_p = 15,00.$$

Порядок расчёта:

1. Определение концентрации примеси в p - n переходе эмиттер-база

$$N_{S2}^* ;$$

2. Определение глубины залегания p - n перехода база-коллектор d_2 ;
3. Расчёт числа Гуммеля N_G ;
4. Расчёт средней концентрации $\overline{N_B}$;
5. Расчёт подвижности носителей заряда в коллекторной, базовой и эмиттерной областях μ_o ;
6. Расчёт поверхностной подвижности носителей заряда μ_S .

Семинар 2. Расчёт параметров МОП транзистора (МОПТ)

Исходные данные:

- данные семинара 1: $N_{ii}(N_o)$, μ_S ,

- табличные величины:

$$\varphi_T = 0,026V, q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}, n_i = 2 \cdot 10^{10},$$

$$\varepsilon_o = 8,86 \cdot 10^{-14} \text{ Ф/см}, \varepsilon_{ox} = 4, \varepsilon_n = 12,$$

- напряжение на стоке $|U_c| = 5V$,

- толщина подзатворного оксида $d_{ox} = 35\text{нм}$,

- толщина p - n перехода $d_{pn} = 2\text{мкм}$,

- концентрация дефектов в плёнке подзатворного оксида

$$N_{ot} = 10^{11} \text{ см}^{-2}.$$

Порядок расчёта:

1. Расчёт контактного потенциала φ_k для переходов исток-подложка и исток-сток;
2. Расчёт ширины обеднённой области p - n перехода l_{oi} (исток-подложка, исток-карман);
3. Расчёт ширины обеднённой области p - n перехода l_{oc} (сток-подложка, сток-карман);
4. Расчёт металлургической (конструктивной) длины канала L для n МОПТ и p МОПТ $L = 2l_{oc} + l_{oi}$;
5. Расчёт длины канала $L_k = L - (l_{oc} - l_{oi}) \approx l_{oc}$;
6. Расчёт ширины канала Z для n МОПТ и p МОПТ, $Z_n = L_n$,
 $Z_p = 2L_p$;

7. Расчёт поверхностного потенциала φ_{so} , соответствующего пороговому напряжению U_{on} (n МОПТ) и U_{op} (p МОПТ), $\varphi_{so} = 2\varphi_{FE}$;
8. Расчёт коэффициента влияния подложки η для n -канального и p -канального МОПТ;
9. Расчёт приведённой крутизны K_{on} (n МОПТ) и K_{op} (p МОПТ);
10. Расчёт собственного порогового напряжения U_{oni} (n МОПТ) и U_{opi} (p МОПТ);
11. Расчёт сдвига порогового напряжения из-за накопления заряда на дефектах подзатворного оксида $\Delta U_{ot} = -q \frac{N_{ot}}{C_{ox}}$;
12. Расчёт сдвига порогового напряжения из-за заряда поверхностных состояний $\Delta U_{it} = \pm q \frac{N_{it}}{C_{ox}}$;
13. Расчёт порогового напряжения n МОПТ и p МОПТ,
 $U_o = U_{ot} + \Delta U_{ot} + \Delta U_{it}$;
14. Расчёт стоковых характеристик для крутой и пологой областей n МОПТ и p МОПТ.

Семинар 3. Расчёт КМОП инвертора и проектирование его топологии

Порядок расчёта:

1. Определение минимальных размеров КМОП инвертора (определить параметры Λ - системы)¹;
2. Проектирование (на бумаге) топологии КМОП инвертора (использовать результаты расчёта параметров МОПТ);

¹ В Λ -системе наименьшая металлургическая длина канала равна $L^* = 2\Lambda$.

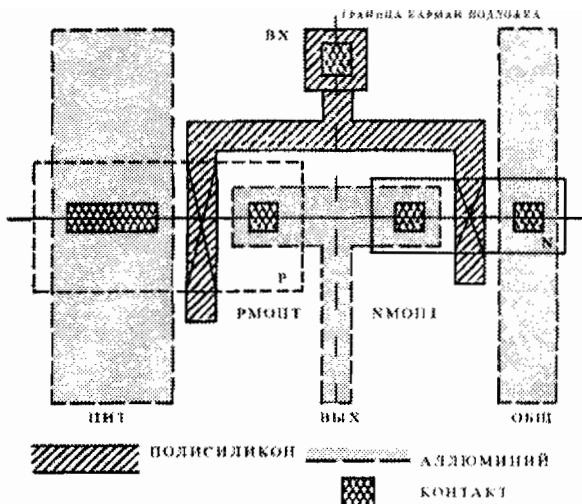


Рис. 1. Схематичная топология КМОП инвертора

3. Определение суммарной ёмкости на выходе инвертора

$$C_{\Sigma} = C_{\text{вых}} + C_{\text{м}} + C_{\text{н}},$$

где $C_{\text{вых}} = C_{\text{сн}} + C_{\text{ср}}$ - суммарная ёмкость p - n переходов стоков n МОПТ и p МОПТ при $U_{\text{вых}} \cong 5B$ и при $U_{\text{вых}} \cong 0B$,

$C_{\text{м}}$ - ёмкость металлизации,

$C_{\text{н}}$ - ёмкость нагрузки (нагрузкой является идентичный инвертор);

4. Расчёт задержек распространения сигнала $t_{\text{зр}}^{01}$ и $t_{\text{зр}}^{10}$,

$$\text{где } t_{\text{зр}} = \frac{U_{\text{нум}} \cdot C_{\Sigma}}{\frac{K_o}{2(1+\eta)} (U_{\text{нум}} - U_o)^2};$$

5. Расчёт средней задержки распространения сигнала

$$\overline{t_{\text{зр}}} = \frac{1}{2} (t_{\text{зр}}^{01} + t_{\text{зр}}^{10});$$

6. Определение напряжения переключения $U_{\text{пер}}$;

7. Расчёт напряжений помехи $U_{\text{ном}}^0$ и $U_{\text{ном}}^1$.

Семинар 4. Расчёт биполярного транзистора

Исходные данные:

- напряжение питания $U_{пит} = 5 В$;
- ток коллектора $I_K = 1 мА$;
- время жизни носителя заряда $\tau_{нб} = 3 \cdot 10^{-8} с$, $\tau_{рб} = 10^{-7} с$;
- толщина эпитаксиальной плёнки $d_{эн} = 4 мкм$;
- толщина скрытого слоя $d_{ск} = 1 мкм$;
- $l_3 = 2 \Lambda$.

Порядок расчёта:

1. Расчёт ширины базы $W = W_0 - (l_{ОБЭ} - l_{ОБК})$,

Примечание:

- а. Эмиттерный переход – резкий, коллекторный – плавный.
- б. Если области $l_{ОЭ}$ и $l_{ОК}$ перекрываются, то используется горизонтальный транзистор.

2. Расчёт коэффициента инжекции γ ;
3. Расчёт коэффициента переноса носителей заряда χ ;
4. Расчёт максимальных значений коэффициентов передачи тока эмиттера α^* и β^* ;
5. Анализ эффекта оттеснения тока эмиттера (при $\Psi > 1$ эффекта нет, при $\Psi < 1$ эффект присутствует),

$$\Psi = \frac{W}{L} \sqrt{\frac{2\beta^*}{\mu_n/\mu_p}};$$

6. Если эффект оттеснения тока присутствует, то добавляется ещё один контакт к базе с другой стороны эмиттера;
7. Расчёт удельного сопротивления базы ρ_B ;
8. Расчёт ширины эмиттера $Z = \frac{I_Э \cdot \rho_B \cdot W}{\varphi_T (\mu_n/\mu_p)}$;
9. Расчёт коэффициента, учитывающий вклад данной части эмиттера в общий ток эмиттера γ^* ,

$$(\gamma^*)^{-1} = 1 + \frac{A_{ЭБ} \cdot h_{O2} \cdot N_T}{A_{Э0} \cdot d_3 \cdot N_{S2} \cdot L_B} (e^{\frac{d_3}{h_{O2}}} - 1);$$

10. Расчёт $\alpha = \gamma^* \cdot \gamma \cdot \chi$;

11. Расчёт β ;

12. Расчёт r_{σ} ;

13. Расчёт r_n .

Семинар 5. Расчёт малосигнального усилителя на биполярном транзисторе

Исходные данные:

- напряжение питания $U_{пит} = 5В$;

- ток коллектора $I_K = 1мА$ в рабочей точке при $U_K = \frac{U_{пит}}{2}$;

- параметры биполярного транзистора даны в семинаре 4.

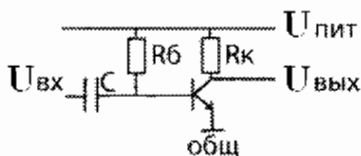


Рис. 2. Схема усилителя

Порядок расчёта:

1. Расчёт по постоянному току:

- расчёт тока $I_{\sigma} = \frac{I_K}{\beta}$,

- расчёт сопротивления эмиттера $r_{\sigma} = \frac{\varphi_r}{I_{\sigma}}$, где $I_{\sigma} = \frac{I_K}{\alpha}$,

- расчёт сопротивления коллектора $R_K = \frac{U_K}{I_K}$,

- расчёт сопротивления базы $R_{\sigma} = \frac{U_{пит}}{I_{\sigma}} - r_{\sigma}$;

2. Расчёт по переменному току:

- расчёт коэффициента усиления на средних частотах

$$K_{y.o.} = \frac{\overline{U_{вых}}}{U_{вх}} = \beta \frac{\frac{R_k r_k}{R_k + r_k}}{\frac{R_{\bar{o}} \cdot [r_{\bar{o}} + (\beta + 1)r_o]}{R_{\bar{o}} + r_{\bar{o}} + (\beta + 1)r_o}};$$

- расчёт постоянной времени на выходе усилителя $\tau = \frac{R_k \cdot r_k}{R_k + r_k} \cdot C_{\Sigma}$,

где $C_{\Sigma} = C_k + C_M$,

C_k - ёмкость коллекторного $p-n$ перехода,

C_M - ёмкость металлизации;

- расчёт граничной частоты f_{cp} при $K_y(f_{cp}) = 0,7K_{y.o.}$,

$$K_y(f_{cp}) = \frac{K_{y.o.}}{\sqrt{1 + (2\pi f_{cp})^2 \tau^2}}.$$

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ НА ТЕМУ РАЗРАБОТКИ КМОП ИМС

1. График выполнения курсового проекта

Курсовой проект выполняется в течение 8-го семестра. График его выполнения представлен в табл. 2.

Таблица 2

Конс.	Недели	Содержание работы	Результат работы
1	1 - 2	Анализ технологического процесса	Обобщенная норма проектирования
2	3 - 4	Расчет параметров защитной цепочки	Параметры и топология
3	5 - 6	Расчет параметров МОПТ	Параметры и топология МОПТ
4	7 - 8	Топология ИМС	Чертеж топологии
5	9 - 10	Расчет параметров ИМС	Параметры ИМС
6	11 - 12	Расчет параметров паразитных транзисторов	Возможность эффекта «защелки»
7	13 - 14	Коррекция топологии и расчет гамма-процентного ресурса	Гамма-процентный ресурс ИМС
8	15 - 16	Чертежи фотошаблонов и пояснительная записка	Оформленный проект

2. Задание на курсовой проект

2.1. Основные блоки курсового проекта

Курсовой проект содержит индивидуальное задание студенту, состоящее из следующих основных блоков:

1. Расчет топологических параметров МОП транзисторов, защитной цепочки, паразитных транзисторов и параметров ИМС.

2. Разработка предварительного и окончательного варианта топологии ИМС.

3. Анализ надежности разработанной КМОП ИМС (анализ возможности возникновения эффекта «защелки» и оценка гамма-процентного ресурса ИМС).

Курсовой проект завершается написанием пояснительной записки и изготовлением чертежей фотошаблонов в обобщенной λ -системе.

Проектирование КМОП логического элемента для стандартного технологического процесса. Напряжение питания 5 В.

2.2. Проектирование на основе кремния *p*-типа

Типовая структура элементов

Структура слоев элементов показана на рис. 3:

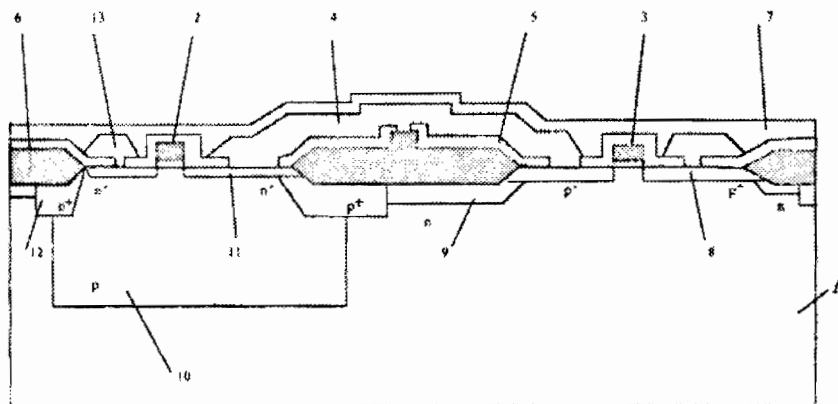


Рис. 3. Структура слоев элементов КМОП ИМС на основе кремния *p*-типа

1. Пластина *p*-кремния типа КЭФ-4,5.
2. Подзатворный оксид (термический).
3. Поликремний: затвор, межсоединения.
4. Металлизация: Al + Si (1%).
5. Изолирующий слой пиролитического оксида.
6. «Толстый» (полевой) оксид (термический).
7. Защитный слой: фосфоросиликатное стекло или нитрид кремния.
8. Области p^+ -стока и p^+ -истока *p*-канального транзистора (имплантация бором).
9. Области n^+ охранного подлегирования *p*-канальных транзисторов (имплантация фосфором).
10. Карман *p*-типа (имплантация бором с последующей разгонкой).
11. Области n^+ -стока и n^+ -истока *n*-канального транзистора (имплантация фосфором).
12. Области *p* охранного подлегирования *n*-канальных транзисторов (имплантация бором).
13. Контактное окно.

Технологический маршрут

Формирование партии пластин типа КЭФ-4,5.

«Толстое» окисление

1-я фотолитография: «карман»:

- травление оксида;
- ионное легирование бором;
- снятие фоторезиста;
- разгонка кармана;
- стравливание оксида;
- окисление поднитридное;
- осаждение нитрида кремния.

2-я фотолитография: «тонкий оксид».

- плазменнохимическое травление нитрида кремния;
- ионное легирование фосфором (подлегирование подложки);
- снятие фоторезиста.

3-я фотолитография: «подлегирование кармана».

- ионное легирование бором;
- разгонка подлегирования;
- локальное окисление;
- стравливание нитрида кремния;
- травление оксида;
- окисление подзатворное;
- осаждение поликремния;
- диффузия фосфора.

4-я фотолитография: «затворы».

- плазменнохимическое травление поликремния;
- снятие фоторезиста.

5-я фотолитография: «сток-истоки» n^+ .

- ионное легирование фосфором;
- плазменнохимическое травление фоторезиста.

6-я фотолитография: «сток-истоки» p^+ .

- ионное легирование бором;
- плазменнохимическое травление фоторезиста;
- оксидение;
- осаждение пиролитического оксида.

7-я фотолитография: «контакты».

- травление контактов;
- снятие фоторезиста;
- напыление Al + Si (1%).

8-я фотолитография: «металлизация».

- травление алюминия;
- снятие фоторезиста;
- осаждение защиты – пассивация.

9-я фотолитография: «пассивация».

- травление пассивации;
- снятие фоторезиста;
- выжигание алюминия;
- контроль параметров.

2.3. Проектирование на основе кремния p-типа

Типовая структура элементов

Структура слоев элементов показана на рис.4:

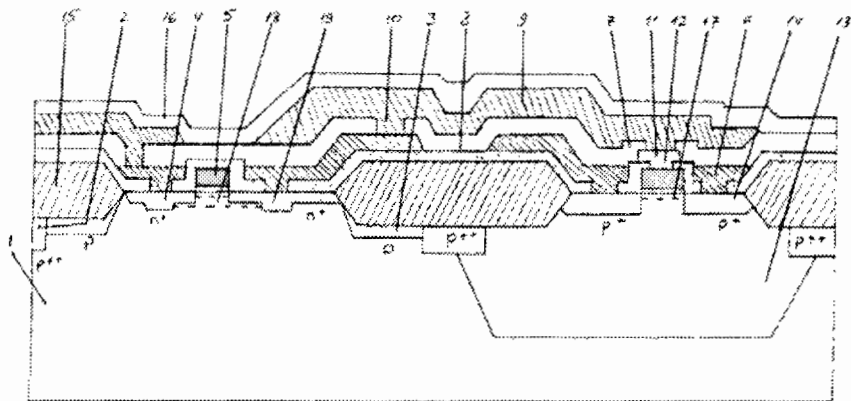


Рис. 4. Структура слоёв элементов КМОП ИМС на основе кремния p-типа

1. Кремниевая пластина типа КДБ-10 с ориентацией [100].
2. Стоп-области.
3. Область подлегирования пластин бором.
4. Стоковые и истоковые n^+ -области.
5. Поликремниевые затворы и межсоединения.
6. Металлизация (алюминий) 1-го уровня.
7. Межслойная изоляция пленкой оксида 1-го уровня.
8. Межслойная изоляция пленкой оксида 2-го уровня.
9. Металлизация (алюминий) 2-го уровня.
10. Контакты алюминия-2 к алюминию 1.
11. Контакты алюминия-1 к кремнию.
12. Подзатворный оксид.
13. Карман n-типа.
14. Стоковые и истоковые p^+ -области.
15. Толстый (полевой) оксид.
16. Защитный слой: фосфоросиликатное стекло или нитрид кремния.

17. Мелкое подлегирование каналов имплантацией бора.
18. Глубокое подлегирование каналов *n*МОП транзистора.
19. Область подлегирования контактов к стокам и истокам *n*МОП транзисторов фосфором.

Технологический маршрут

Формирование партии пластин типа КДБ-10.

«Толстое» окисление

1-я фотолитография: «карман».

- травление оксида;
- ионное легирование бором;
- снятие фоторезиста;
- разгонка кармана;
- травливание оксида;
- окисление поднитридное;
- осаждение нитрида кремния.

2-я фотолитография: «тонкий оксид».

- плазменнохимическое травление нитрида кремния;
- снятие фоторезиста.

3-я фотолитография: «подлегирование подложки».

- имплантация бора;
- снятие фоторезиста.

4-я фотолитография: «стоп-диффузия».

- имплантация бора;
- снятие фоторезиста;
- локальное окисление;
- травливание нитрида;
- предварительное окисление;

5-я фотолитография: «затворная структура».

- имплантация бора;
- снятие фоторезиста;
- травливание оксида;
- подзатворное окисление;
- осаждение поликремния;
- диффузия фосфора.

6-я фотолитография: «поликремниевые затворы».

- плазменнохимическое травление поликремния;
- снятие фоторезиста.

7-я фотолитография: «стоки-истоки n^+ ».

- имплантация мышьяка;
- плазменнохимическое травление фоторезиста.

8-я фотолитография: «стоки-истоки p^+ ».

- имплантация бора;

- плазменнохимическое травление фоторезиста;

- окисление;

- осаждение пиролитического оксида;

9-я фотолитография: «контакты 1».

- травление контактов 1;

- снятие фоторезиста.

10-я фотолитография: «легирование контактов».

- имплантация фосфора в контакты к n^+ -областям;

- снятие фоторезиста;

- напыление алюминия.

11 фотолитография: «металлизация 1».

- травление алюминия;

- снятие фоторезиста;

- осаждение пиролитического оксида.

12 фотолитография: «контакты 2».

- травление контактов 2;

- снятие фоторезиста;

- напыление алюминия.

13-я фотолитография: «металлизация 2».

- травление алюминия;

- снятие фоторезиста;

- осаждение пассивирующего покрытия.

14-я фотолитография: «пассивация».

- травление пассивирующего покрытия;

- снятие фоторезиста;

- вжигание алюминия;

- контроль параметров.



3. Методика расчёта защитной цепочки

1. Схема защитной цепочки представлена на рис.5,а, ее топология – на рис.5.б., а разрез – на рис.5.в..

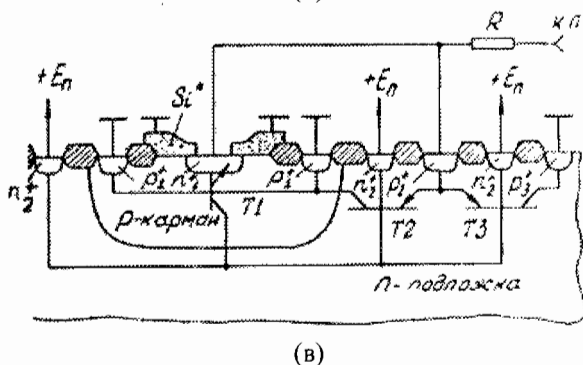
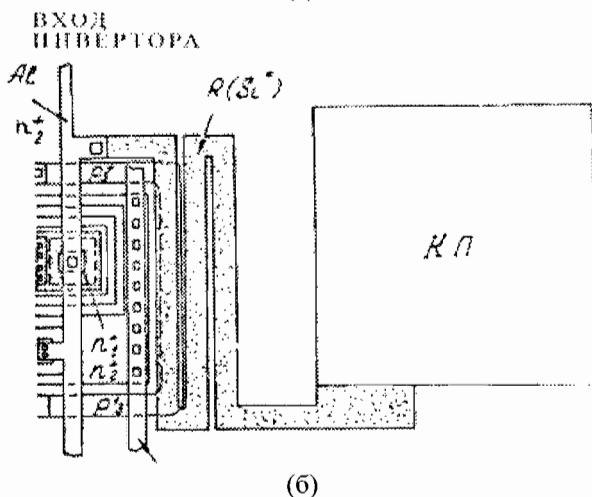
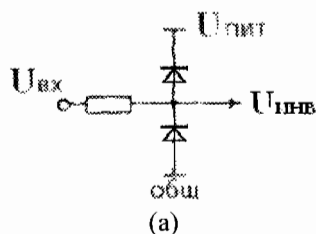


Рис. 5 Защитная цепочка

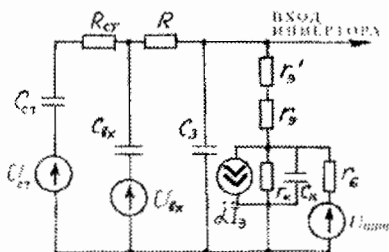
2. Параметры модели импульса статического электричества:

$$U_{cm} = 1000 \text{ В,}$$

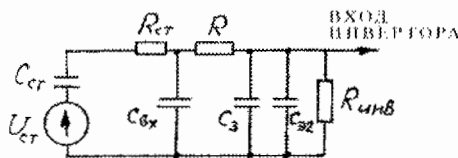
$$R_{cm} = 1000 \text{ Ом,}$$

$$C_{cm} = 200 \text{ пФ.}$$

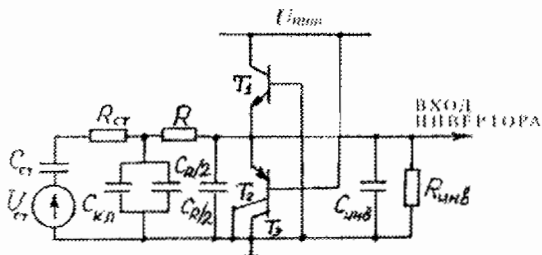
3. Эквивалентная схема защитной цепочки представлена на рис.6,а. В исходном состоянии паразитные транзисторы заперты. Поэтому в начальный момент импульса статического электричества эквивалентная схема защитной цепочки имеет вид, представленный на рис.6,б. После того, как емкость эмиттерного перехода $C_{э2}$ зарядится до напряжения отпирания транзистора, эквивалентная схема приобретает вид, показанный на рис.6,в, где паразитные транзисторы T_2 и T_3 объединены в один транзистор.



(а)



(б)



(в)

Рис 6. Эквивалентная схема защитной цепочки (а), в начальный момент импульса (б), после заряда ёмкости эмиттерного перехода $C_{Э2}$ до напряжения отпирания транзистора (в).

4. Выбирается величина сопротивления защитной цепочки R (в пределах 1...10 кОм) и производится расчет топологии.

5. Производится расчет емкостей:

1) резистора
$$C_R = 5 \epsilon_0 \epsilon_{ox} (b l_{cp}) / 3 d_{ox} + 0,863 \sqrt{h} \cdot (\epsilon_0 \epsilon_{ox} b^2 / d_{ox}),$$

где n – число изломов,

b и l_{cp} – ширина и длина средней линии резистора;

2) контактной площадки
$$C_{кп} = (5 \epsilon_0 \epsilon_{ox} a^2) / 3 d_{ox} + 2,7 \epsilon_0 \epsilon_{ox} / \lg(4 d_{ox} / d_M) + C_B,$$

где a – длина стороны контактной площадки,

d_{ox} и d_M – толщины толстого оксида и металлизации,

C_B – емкость термокомпрессионных выводов;

3) входной ёмкости ИМС
$$C_{вх} = C_{кп} + C_R / 2;$$

4) ёмкости на входе инвертора
$$C_3 = C_{инв} + C_R / 2 + C_{э1},$$

где $C_{инв}$ – входная емкость инвертора,

$C_{э1}$ – емкость эмиттера T_1 .

6. Рассчитываются сопротивления эмиттерного перехода ($r_э + r_э'$) и базы $r_б$ объединенного транзистора $T_2 - T_3$, где

$r_э = x_э / (q \mu_э N_{э.ср.} l_{эу} l_{эз})$ - сопротивление «тела» эмиттера,

$r_э' = \gamma^* [l_{эу}' / (2x_э) + 2x_э / l_{эу}'] / 12 l_{эз}' q \mu_э N_{э.ср.}$ - сопротивление эмиттерного рп-перехода, где

$l_{эу}$ и $l_{эз}$ - размеры окна для изготовления эмиттера,

$x_э$ - глубина залегания легированной области эмиттера,

$N_{э.ср.}$ - среднее значение концентрации примеси в области эмиттера,

q - заряд электрона,

$\mu_э$ - подвижность основных носителей заряда в эмиттерной области;

$l_{эу}' = l_{эу} + 1,4 x_э + l_{0э}$ и $l_{эз}' = l_{эз} + 1,4 x_э + l_{0э}$ - размеры по оси y и z эмиттерной области с учетом ее формы,

$l_{0э}$ - ширина ОПЗ.

7. Сопротивление базы рассчитывается общепринятым способом.

8. Определяется α_{pnp} транзистора.

9. Определяется $\tau(\alpha_{pnp})$ - постоянная нарастания α_{pnp} при импульсном сигнале на входе

$$\tau(\alpha_{pnp}) = \tau_{p0} [ch(W/L_p) - 1] \cdot \{1 + A_{\text{до}} \cdot sh(W/L_p) / A_{\text{бо}} [ch(W/L_p) - 1]\},$$

где $A_{\text{до}}$ и $A_{\text{бо}}$ - площади донной и боковой частей эмиттерного перехода,

W - реальная ширина базы,

τ_{p0} и L_p - время жизни и длина диффузии дырок в n -базе.

10. Рассчитывается амплитуда импульса на входе инвертора:

$$U_{\text{инв. макс.}} = U_{\text{см}} \{ (r_{\text{с}} + r_{\text{э}} + r_{\text{б}}) / [R + R_{\text{см}} + r_{\text{с}} + r_{\text{э}} + r_{\text{б}}(1 - \alpha_{pnp})] \} \times \\ \times \{ 1 - (R \cdot R_{\text{см}} \cdot C_{\text{вх}}) / [(R + R_{\text{см}}) \tau(\alpha_{pnp})] \}.$$

11. Проверяется условие

$$U_{\text{инв. макс.}} = \delta U_{\text{проб. ох.}} \quad \text{при } E_{\text{проб. ох.}} = 7 \cdot 10^6 \text{ В/см},$$

где δ - запас ($\delta \sim 0,2 \dots 0,5$).

12. Производится расчет задержки в защитной цепочке

$$t_{\text{зп}} = - \ln[(\theta_2 - \theta_1) / 2\theta_2] / \theta_1,$$

$$\text{где } \theta_1 = v_1/2 - \sqrt{((v_1/2)^2 - v_2)},$$

$$\theta_2 = v_1/2 + \sqrt{((v_1/2)^2 - v_2)},$$

$$v_1 = 1/(R C_{\text{вх}}) + 1/(R C_{\text{г}}) + 1/(R_{\text{вых}} C_{\text{вх}}),$$

$$v_2 = 1/(R R_{\text{вых}} \cdot C_{\text{вх}} \cdot C_{\text{г}}),$$

$$R_{\text{вых}} = 500 \text{ Ом}.$$

13. Выполняется коррекция топологии для обеспечения защиты от пробоя подзатворного оксида и заданного значения задержки распространения сигнала ИМС.

4. Методика расчёта Гамма-процентного ресурса

1. Расчет интенсивности отказов чипа:

- определение площади металлизации;
- расчет интенсивности отказов металлизации при $\lambda_m^* = 3,4 \cdot 10^{-9}$ 1/ч мм²;
- определение площади активной поверхности;
- расчет интенсивности отказов поверхности при $\lambda_n = 1,22 \cdot 10^{-9}$ 1/ч мм²,
- определение площади тонкого (подзатворного) оксида;
- расчет интенсивности отказов тонкого оксида (МОП-структур) при $\lambda_{ox} = 1,0 \cdot 10^{-8}$ 1/ч мм²,
- определение площади легированных областей;
- определение интенсивности отказов легированных областей при $\lambda_{lez} = 4,2 \cdot 10^{-10}$ 1/ч мм²,
- расчет интенсивности отказов чипа.

2. Расчет интенсивности отказов ИМС:

- определение площади внутренних контактных узлов;
- определение интенсивности отказов внутренних контактных узлов при $\lambda_q^* = 5,0 \cdot 10^{-10}$ 1/ч мм²,

3. Определение интенсивности отказов ИМС при интенсивностях отказов:

- внешнего контактного узла $\lambda_Q^* = 7,0 \cdot 10^{-10}$ 1/ч,
- крепления кристалла $\lambda_{xp} = 6,0 \cdot 10^{-9}$ 1/ч,
- плоского корпуса $\lambda_p = 5,0 \cdot 10^{-9}$ 1/ч.

3. Расчет гамма-процентного ресурса ИМС.

$$t_\gamma = -(\ln p_\gamma) / \lambda$$

где $p_\gamma = \gamma/100\%$;

λ - эксплуатационная интенсивность отказов.

Расчет провести для $\gamma = 99\%$

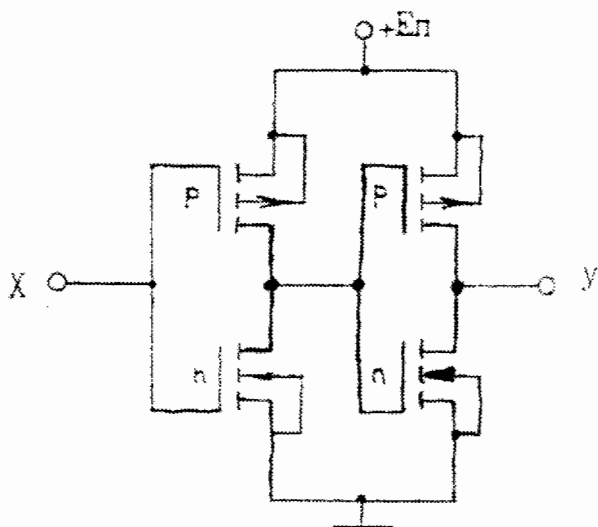
ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Вариант	Тип логического элемента (№ в каталоге)	Вид аппаратуры	T, °C
1	НЕ инвертирующий элемент (F3001)	Ракетная	50
2	2ИЛИ – НЕ (F3002)	Переносная	40
3	2И – НЕ (F3003)	Возимая	30
4	4ИЛИ – НЕ (F3005)	Ракетная	40
5	4И – НЕ (F3006)	Авиационная	50
6	2 – 2И – ИЛИ – НЕ (F3007)	Космическая	30
7	2 – 2ИЛИ – 2И – НЕ (F3008)	Стационарная	40
8	Управляемый инвертор (F3009)	Возимая	30
9	2И – 3ИЛИ – НЕ (F3010)	Переносная	40
10	3И – 2ИЛИ – НЕ (F3011)	Авиационная	50
11	ЛЭ эквивалентности (F3012)	Ракетная	40
12	Исключающее ИЛИ (F3013)	Космическая	30
13	Триггер RS-типа (F3014)	Стационарная	40
14	Триггер RS-типа (F3015)	Возимая	30
15	Триггер RS-типа (F3017)	Космическая	50
16	RS-фиксатор (F3020)	Ракетная	50
17	RS-фиксатор (F3021)	Возимая	30
18	RS – фиксатор (F3023)	Стационарная	40
19	Триггер D-типа работающий по уровню (F3024)	Переносная	40
20	Триггер D-типа работающий по уровню (F3026)	Возимая	30
21	Триггер D-типа (F3030)	Ракетная	50
22	6И – НЕ (F3039)	Космическая	30
23	2 – 3И – 3ИЛИ – НЕ (F3040)	Авиационная	50
24	4 – 2И – 2ИЛИ – НЕ (F3041)	Ракетная	40
25	2И – 2И – 2И – 3И – 4ИЛИ – НЕ (F3042)	Стационарная	30
26	Селектор-мультиплексор (F3046)	Ступени ракет	40
27	Демультиплексор (F3049)	Космическая	50
28	Дешифратор 2x4 со стробированием (F3052)	Переносная	30

Ниже приведены схемы и динамические характеристики для каждого варианта.

1. НЕ инвертирующий элемент (F3001)

$$y = x$$

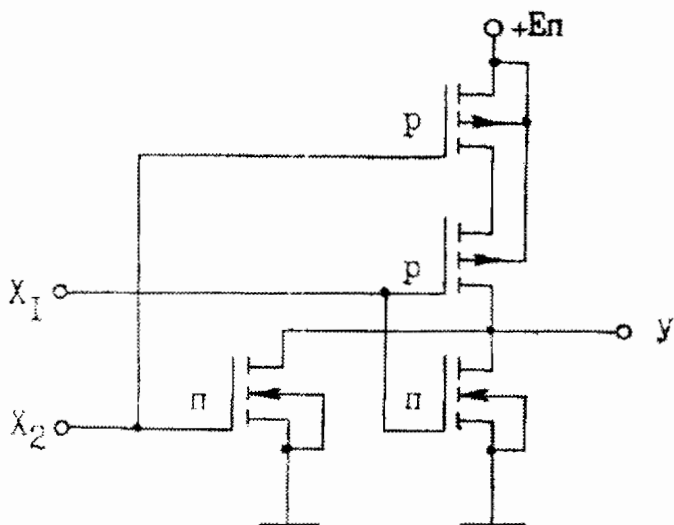


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X	0,24
Y	0,35

C_n , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здp}^{01}$, нс	4,0	4,5	5,0
$t_{здp}^{10}$, нс	2,0	2,5	3,0

$$y = \overline{x_1 + x_2}$$

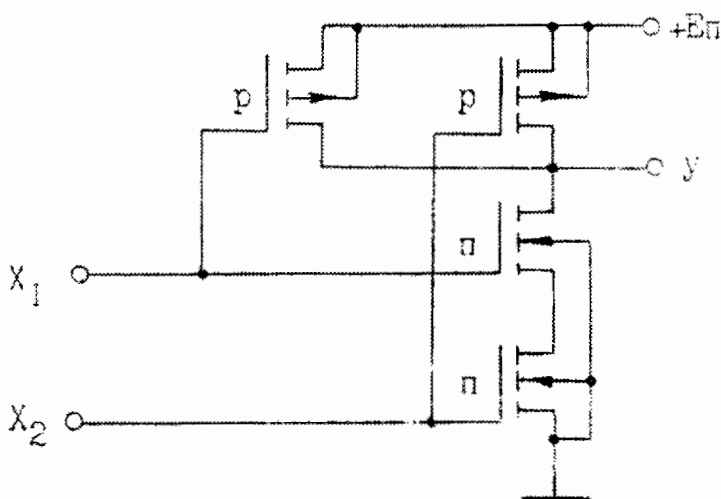


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2	0,12
Y	0,37

$C_{н}, \text{пФ}$	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}, \text{нс}$	10,0	15,0	20,0
$t_{здр}^{10}, \text{нс}$	2,5	8,0	10,0

$$y = \overline{x_1 \cdot x_2}$$

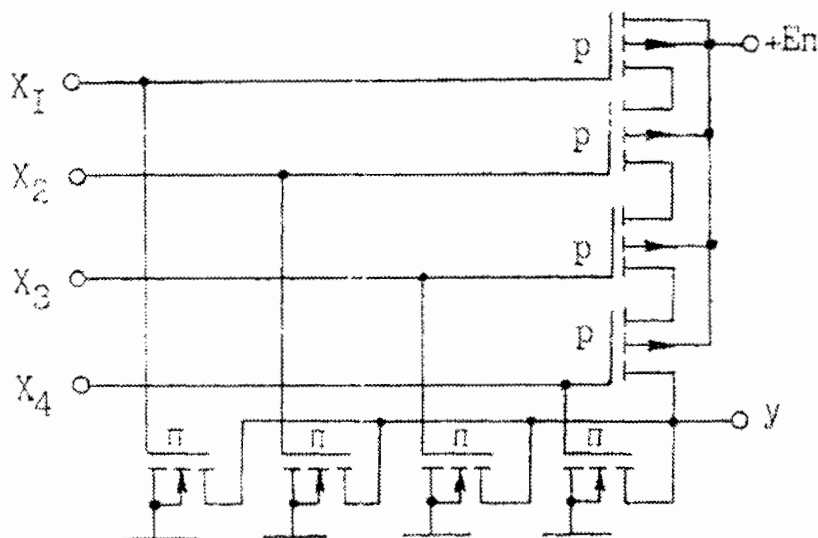


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2	0,12
Y	0,41

C_n , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}$, нс	2,5	8,0	10,0
$t_{здр}^{10}$, нс	10,0	15,0	20,0

$$y = \overline{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}$$

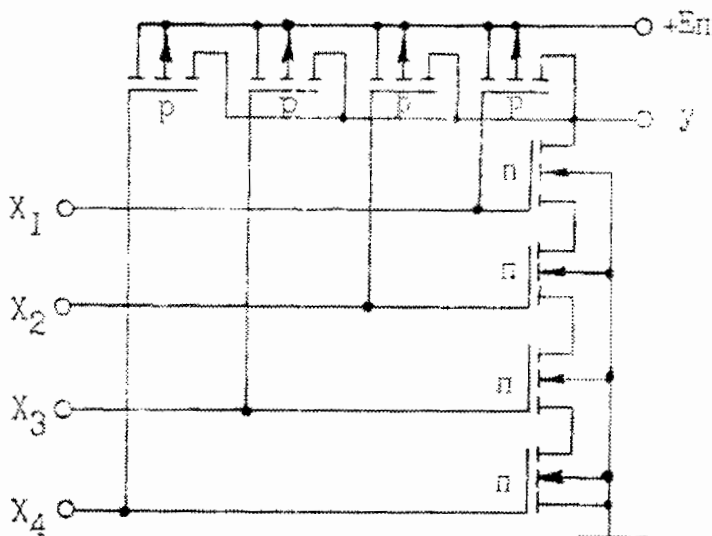


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2, X_3, X_4	0,12
Y	0,52

C_n , пФ	0	0,5	1,0
t_{30p}^{01} , нс	30,0	35,0	40,0
t_{30p}^{10} , нс	5,0	7,5	10,0

$$y = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$$

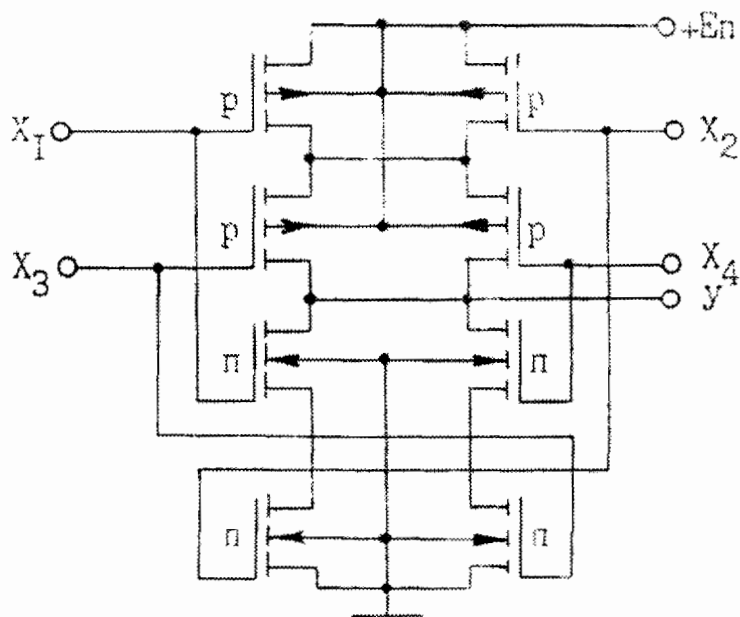


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2, X_3, X_4	0,12
У	0,49

$C_{н}, \text{пФ}$	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}, \text{нс}$	5,0	7,5	10,0
$t_{здр}^{10}, \text{нс}$	30,0	35,0	40,0

$$y = \overline{x_1 \cdot x_2} + x_3 \cdot x_4$$

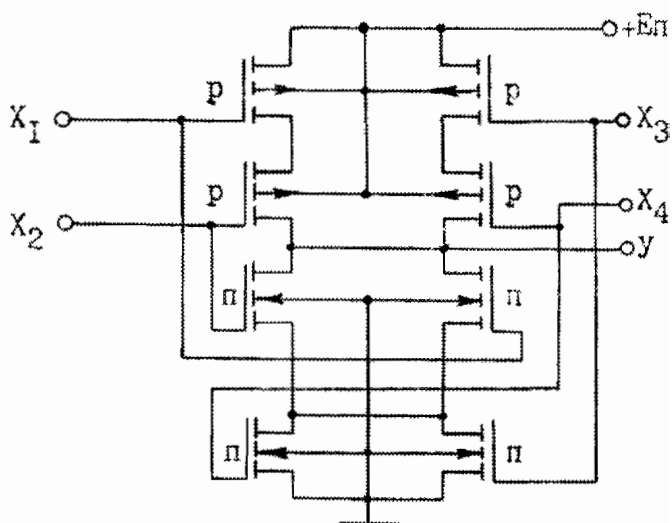


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2, X_3, X_4	0,12
Y	0,02

C_n , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}$, нс	20,0	20,5	21,0
$t_{здр}^{10}$, нс	20,0	21,5	23,0

$$y = \overline{(x_1 + x_2)} \cdot (x_3 + x_4)$$

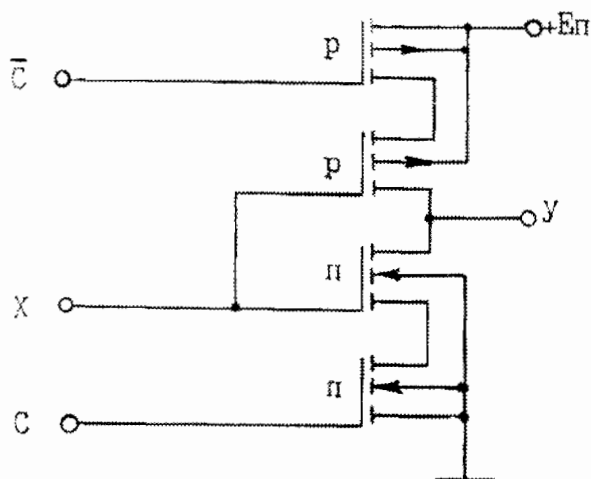


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₄	0,12
Y	0,47

C _н , пФ	0	0,5	1,0
t _{здp} ⁰¹ , нс	20,0	21,5	23,0
t _{здp} ¹⁰ , нс	20,0	20,5	21,0

8. Управляемый инвертор (F3009)

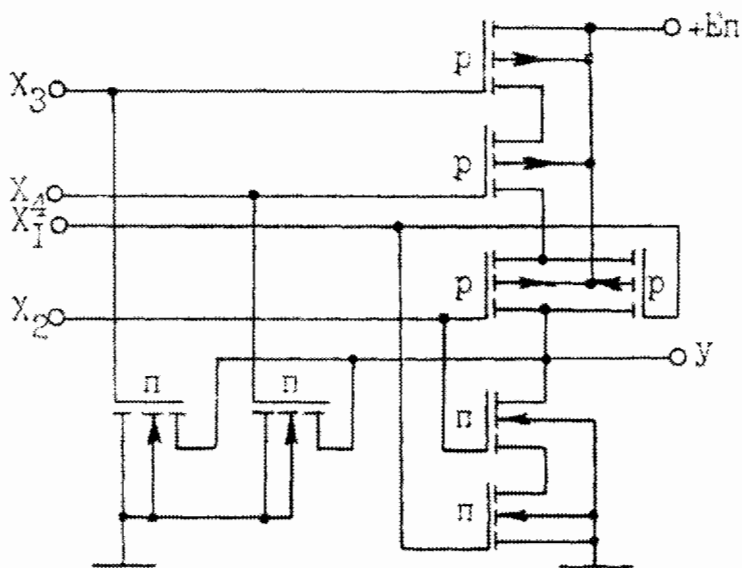


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X	0,24
Y	0,58
C, C̄	0,35

C _н , пФ	0	0,5	1,0
t _{здp} ⁰¹ , нс	10,0	15,0	20,0
t _{здp} ¹⁰ , нс	10,0	12,5	15,0

$$y = \overline{x_1 \cdot x_2 + x_3 + x_4}$$

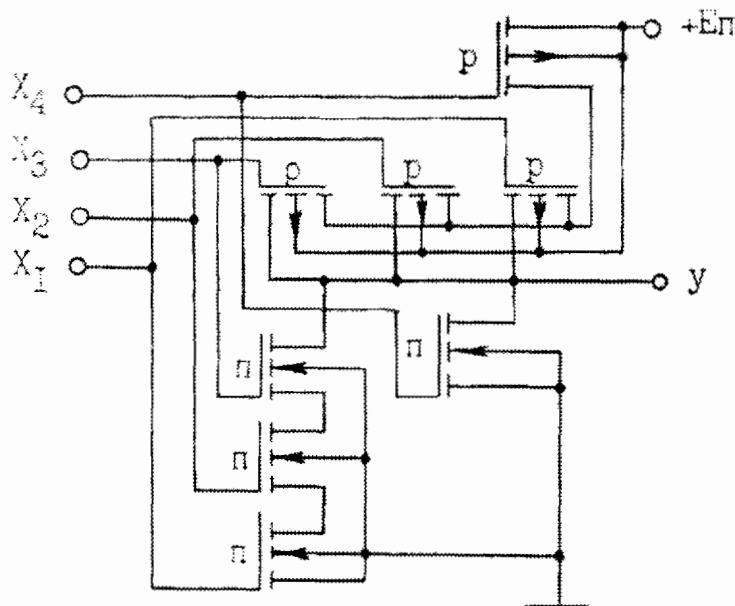


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2, X_3, X_4	0,12
Y	0,58

$C_{н}, \text{пФ}$	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}, \text{нс}$	30,0	32,5	35,0
$t_{здр}^{10}, \text{нс}$	20,0	22,5	25,0

$$y = \overline{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3} + x_4$$



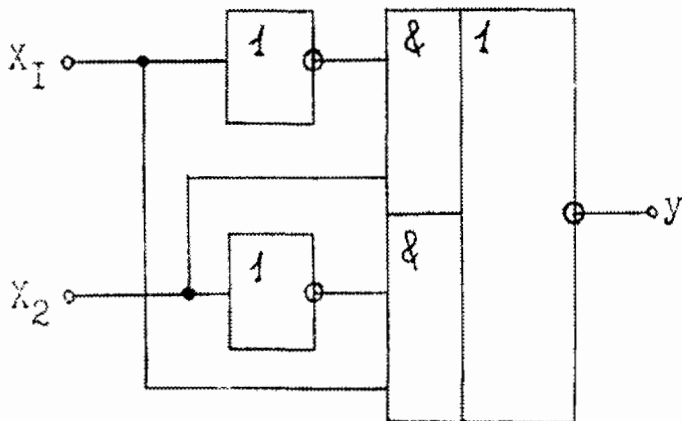
Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2, X_3, X_4	0,12
Y	0,45

C_n , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}$, нс	20,0	22,5	25,0
$t_{здр}^{10}$, нс	30,0	32,5	35,0

11. ЛЭ эквивалентности (F3012)

$$y = \overline{x_1 \cdot x_2} + x_1 \cdot \overline{x_2}$$



Динамические характеристики

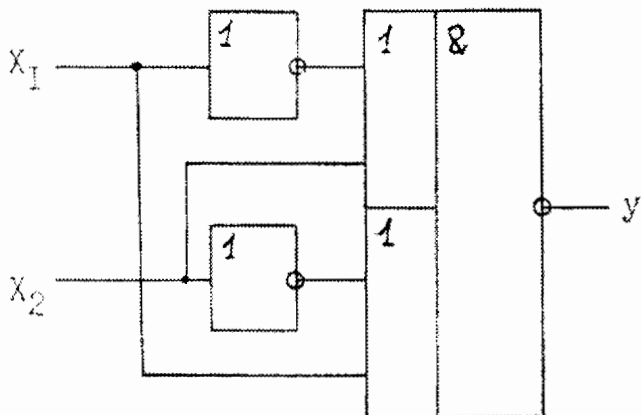
Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X ₁ , X ₂	0,24
Y	0,62

C _н , пФ	0	0,5	1,0
t _{здp} ⁰¹ , нс	20,0	21,5	22,0
t _{здp} ¹⁰ , нс	20,0	21,5	23,0

12.

Исключающее ИЛИ (F3013)

$$y = (\overline{x_1} \cdot x_2) + (x_1 \cdot \overline{x_2})$$

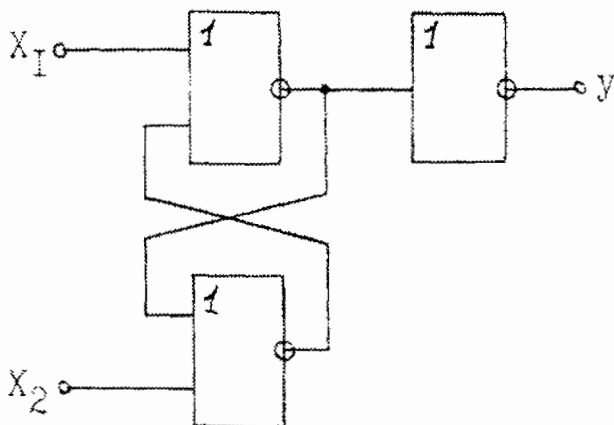
*Динамические характеристики*

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2	0,24
Y	0,47

C_n , пФ	0	0,5	1,0
t_{30p}^{01} , нс	20,0	21,5	23,0
t_{30p}^{10} , нс	20,0	21,5	22,0

13.

Триггер RS-типа (F3014)

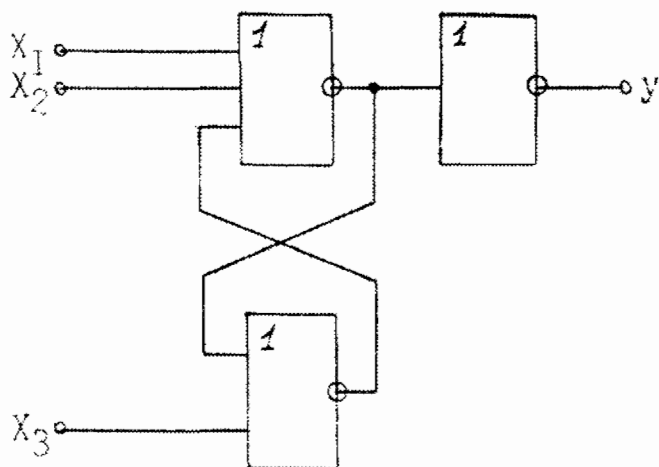
*Динамические характеристики*

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2	0,12
Y	0,35

C_n , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}$, нс	15,0	15,5	16,0
$t_{здр}^{10}$, нс	15,0	15,5	16,0

14.

Триггер RS-типа (F3015)

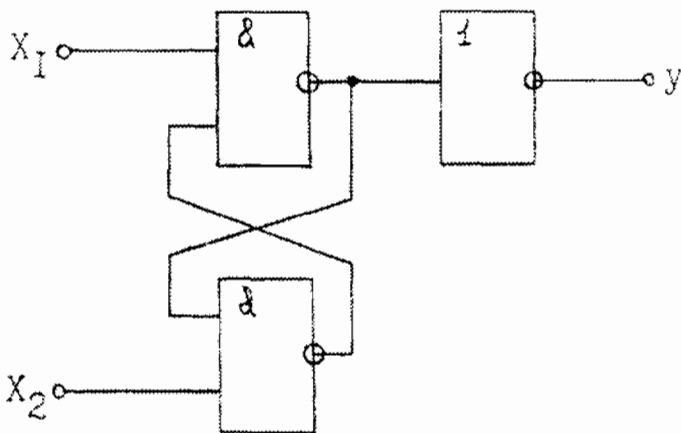
*Динамические характеристики*

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2, X_3	0,12
Y	0,43

C_{in} , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}$, нс	15,0	15,5	16,0
$t_{здр}^{10}$, нс	15,0	15,5	16,0

15.

Триггер RS-типа (F3017)

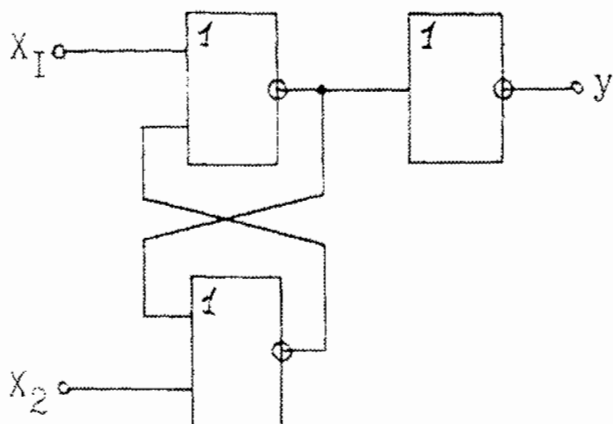
*Динамические характеристики*

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2	0,12
Y	0,35

$C_{и},$ пФ	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01},$ нс	15,0	15,5	16,0
$t_{здр}^{10},$ нс	15,0	15,5	16,0

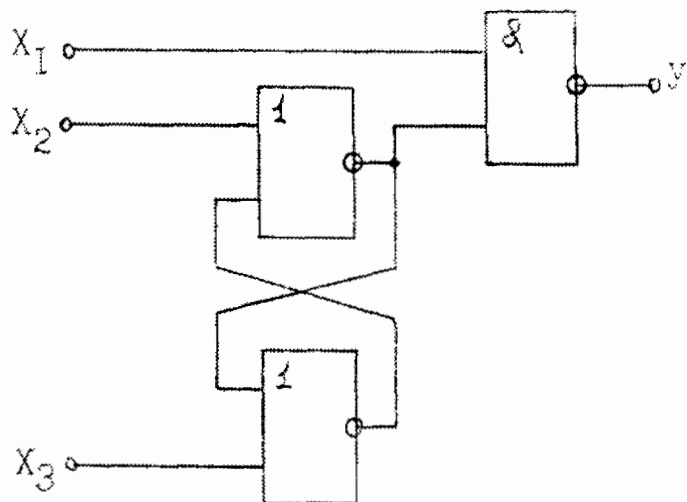
16.

RS-фиксатор (F3020)

*Динамические характеристики*

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2, X_3	0,12
Y	0,37

C_n , пФ	0	0,5	1,0
t_{30p}^{01} , нс	15,0	16,5	18,0
t_{30p}^{10} , нс	15,0	16,5	18,0



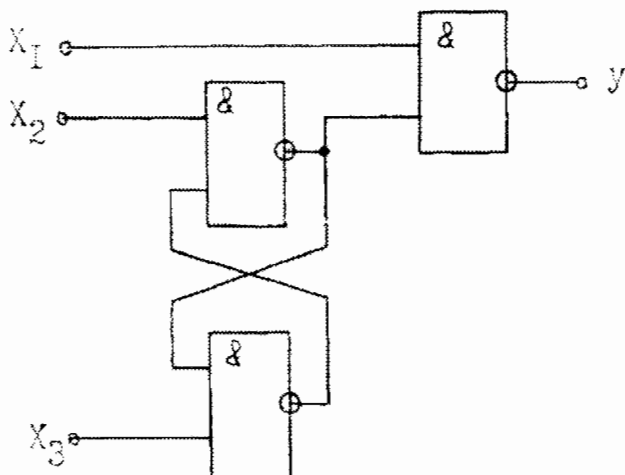
Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2, X_3	0,12
Y	0,41

C_n , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}$, нс	10,0	11,0	12,0
$t_{здр}^{10}$, нс	15,0	16,5	18,0

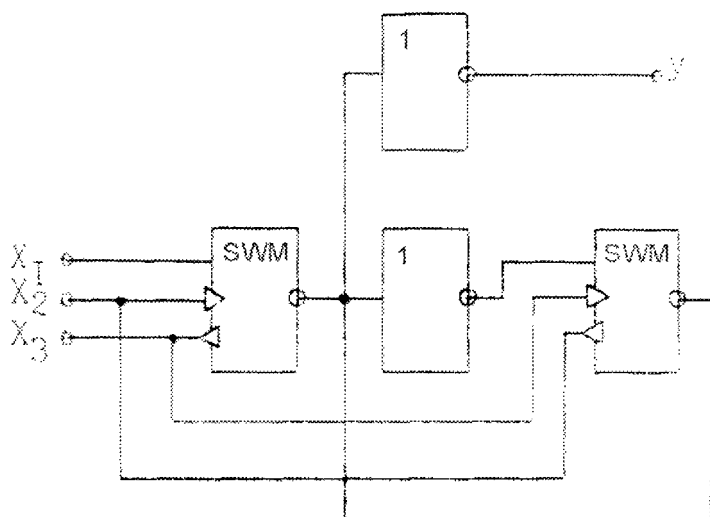
18.

RS – фиксатор (F3023)

*Динамические характеристики*

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2, X_3	0,12
Y	0,41

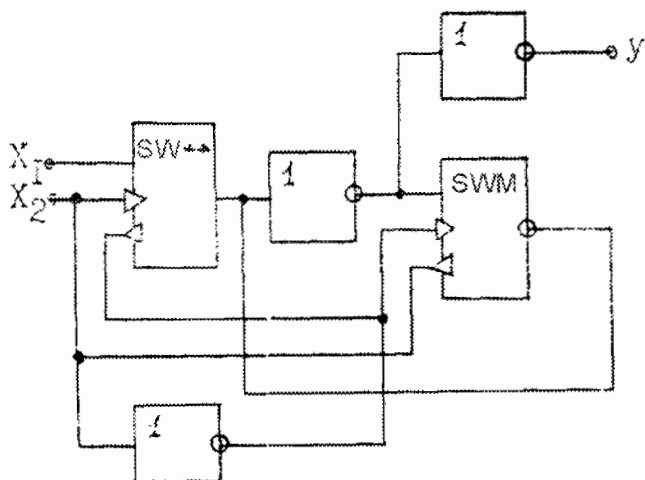
C_n , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}$, нс	10,0	11,0	12,0
$t_{здр}^{10}$, нс	15,0	16,5	18,0



Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2, X_3	0,12
Y	0,43

C_n , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}$, нс	20,0	21,0	22,0
$t_{здр}^{10}$, нс	20,0	21,0	22,0

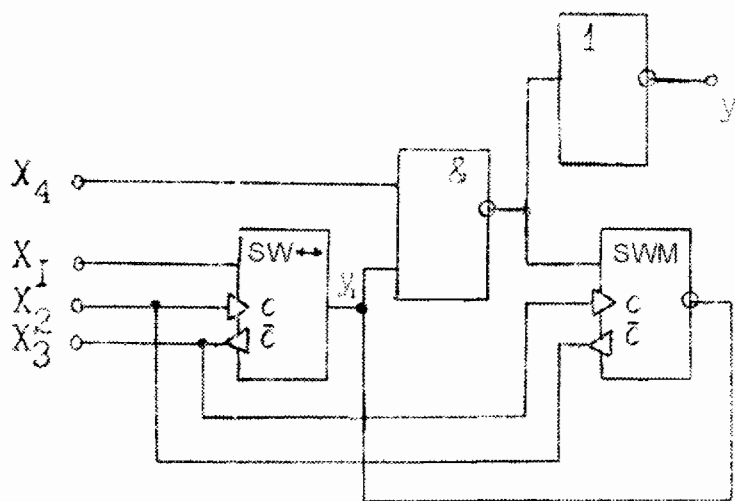


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1	0,43
X_2	0,37
Y	0,43

$C_{н}, \text{пФ}$	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}, \text{нс}$	10,0	11,0	12,0
$t_{здр}^{10}, \text{нс}$	10,0	11,0	12,0

21. Триггер D-типа (F3030)

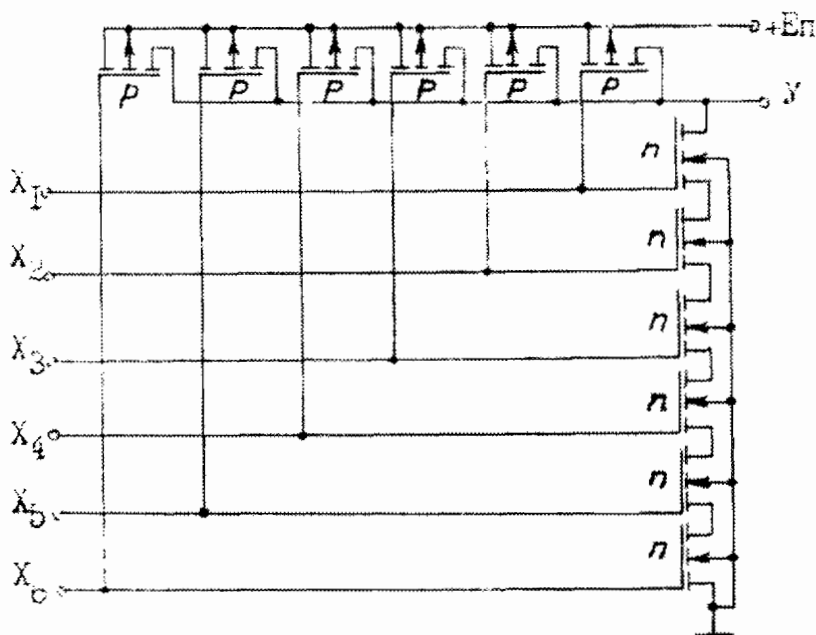


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X ₁	0,43
X ₂ , X ₃ , X ₄	0,12
Y	0,43

C _н , пФ	0	0,5	1,0
t _{здp} ⁰¹ , нс	10,0	11,0	12,0
t _{здp} ¹⁰ , нс	10,0	11,0	12,0

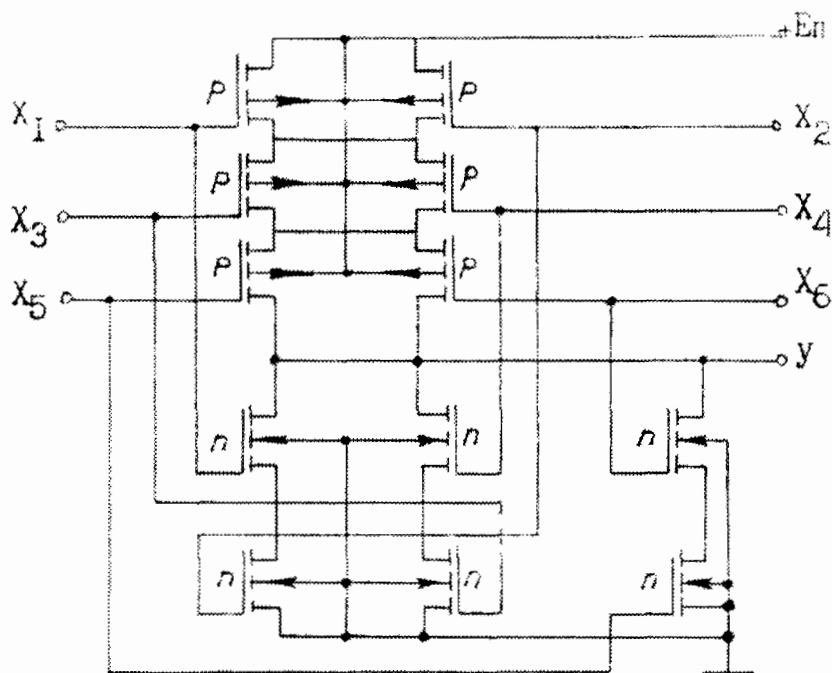
$$y = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 \cdot x_6$$



Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
$X_1, X_2, X_3, X_4,$ X_5, X_6	0,24
Y	0,63

C_{in} , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}$, нс	40,0	45,0	50,0
$t_{здр}^{10}$, нс	60,0	65,0	70,0

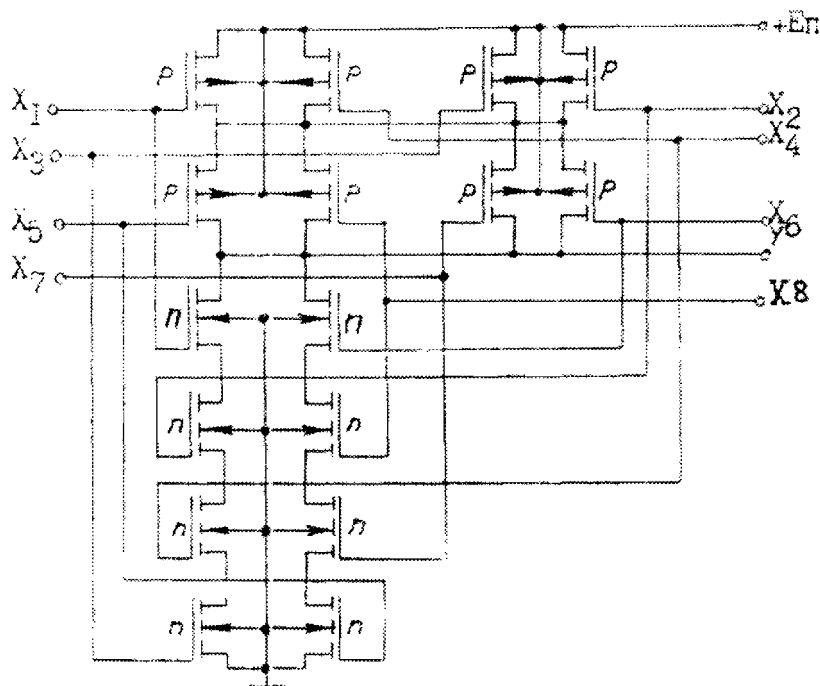


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
$X_1, X_2, X_3, X_4,$ X_5, X_6	0,24
Y	0,45

C_n , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здp}^{01}$, нс	30,0	32,5	35,0
$t_{здp}^{10}$, нс	30,0	32,5	35,0

$$y = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 + x_5 \cdot x_6 \cdot x_7 \cdot x_8$$

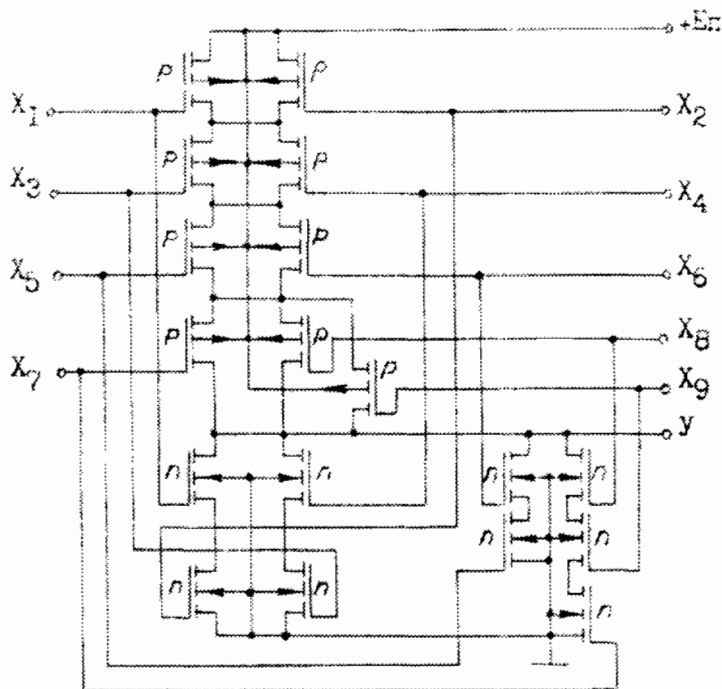


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₄ , X ₅ , X ₆	0,24
Y	0,35

C _н , пФ	0	0,5	1,0
t _{здр} ⁰¹ , нс	30,0	32,5	35,0
t _{здр} ¹⁰ , нс	30,0	32,5	35,0

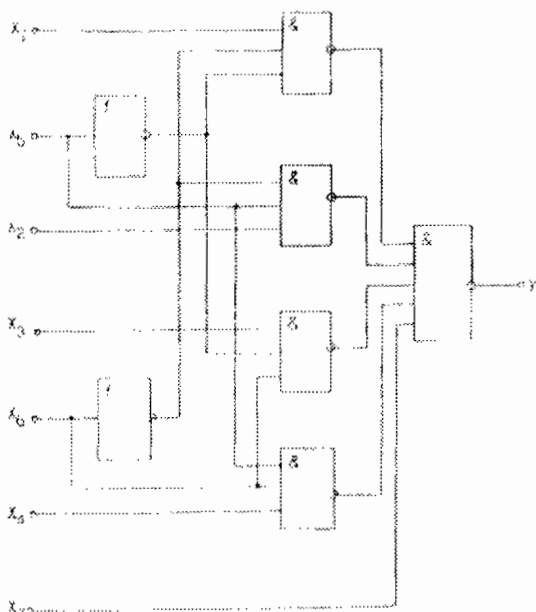
$$y = \overline{x_1 \cdot x_2 + x_3 \cdot x_4 + x_5 \cdot x_6 + x_7 \cdot x_8 \cdot x_9}$$



Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
$X_1, X_2, X_3, X_4,$ X_5, X_6	0,24
Y	0,63

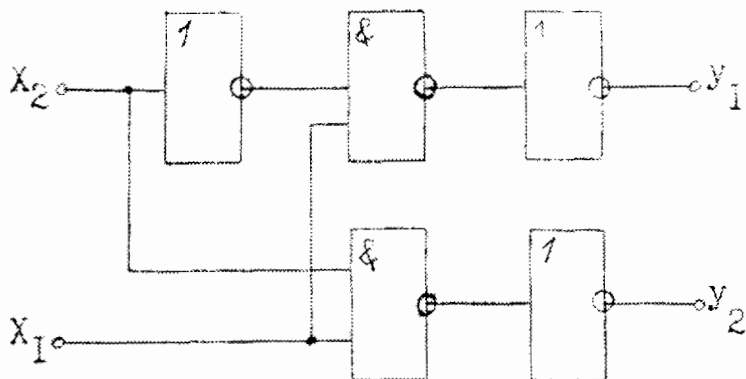
$C_{л}, \text{пФ}$	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}, \text{нс}$	40,0	45,5	50,0
$t_{здр}^{10}, \text{нс}$	40,0	45,5	50,0



Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
$X_1, X_2, X_3, X_4,$ X_7	0,24
X_5	0,36
X_6	0,12
Y	0,55

C_n , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}$, нс	17,5	18,5	19,0
$t_{здр}^{10}$, нс	30,0	31,0	32,0

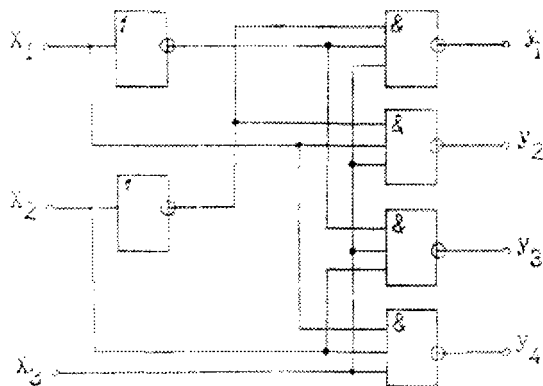


Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2	0,24
Y_1, Y_2	0,35

C_n , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}$, нс	6,5	7,0	7,5
$t_{здр}^{10}$, нс	9,0	9,5	10,0

28. Дешифратор 2x4 со стробированием (F3052)



Динамические характеристики

Вывод	Ёмкость вывода, пФ
X_1, X_2	0,36
X_3	048
Y_1, Y_2, Y_3, Y_4	0,47

C_n , пФ	0	0,5	1,0
$t_{здр}^{01}$, нс	5,0	6,0	7,0
$t_{здр}^{10}$, нс	16,0	17,0	18,0

ОБЩИЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЁТОВ

Назначение слоев

1. Подзатворный оксид служит для изоляции затвора от кремния.
2. Поликремний необходим для формирования самосовмещенного затвора и линий межсоединений.
3. Металлизация применяется для формирования контактных площадок, межсоединений к областям стока, истока и поликремния.
4. Слой пиролитического оксида служит для изоляции уровней поликремния и металлизации.
5. «Толстый» (полевой) оксид необходим маской при формировании областей стоков-истоков транзисторов n^- и p^- -типа. Имеет наибольшую из всех окисных слоев толщину для уменьшения паразитной емкости и повышения порогового напряжения паразитного транзистора.
6. Защитный слой пиролитического фосфоросиликатного стекла или плазмохимического нитрида кремния применяется для пассивации микросхем.
7. Охранной n -слой с повышенной концентрацией служит для увеличения порогового напряжения паразитных p -транзисторов. Формируется ионной имплантацией фосфора.
8. Карман p -типа формируется ионной имплантацией бора с последующей разгонкой и необходим для формирования n -канального транзистора.
9. Охранной имплантированный p -слой с повышенной концентрацией бора применяется для уменьшения влияния положительного заряда на границе Si-SiO_2 и увеличения порогового напряжения паразитных транзисторных структур с каналом n -типа.
10. Контактные окна служат для получения электрического контакта металлизации с n^- , p^- -областями и поликремнием.

11. Окно монтажной площадки необходимо для электрического контакта с металлизацией при контроле и сборке микросхем.

Нормы технологического проектирования

1	Минимальная ширина Al шины, мкм.....	6
2	Минимальный зазор между Al шинами, мкм.....	2
3	Минимальный размер контакта, мкм ²	1×1
4	Перекрытие металлизацией контакта, мкм.....	2,5
5	Поликремниевая шина, мкм.....	3
6	Зазор между поликремниевыми шинами, мкм.....	2
7	Длина канала nМОП-транзистора, мкм.....	3
8	Длина канала pМОП-транзистора, мкм.....	3,5
9	Выход затвора на толстый оксид, мкм.....	2
10	Зазор контакт к диффузии – край поликремния, мкм.....	2
11	Зазор контакт к диффузии – край толстого оксида, мкм.....	1,5
12	Зазор контакт диффузии – край толстого оксида в истоке, подключенного к выводам \perp или $U_{пит}$, мкм.....	1
13	Зазор контакт к поликремнию – край этого поликремния, мкм..	2
14	Зазор поликремний на толстом оксиде – край толстого оксида, мкм.....	1
15	Перекрытие n^+ или p^+ -слоем толстого оксида, мкм.....	1
16	Перекрытие карманом толстого оксида, мкм.....	0,5
17	Расстояние между разноименными легированными областями по толстому оксиду, мкм.....	12
18	Зазор между n' и p' областями, объединенными контактом.....	0
19	Зазор по толстому оксиду между n^- и p^+ областями, не объединенными контактом, но в одном кармане, мкм.....	3
20	Ширина диффузионной шины, мкм.....	4
21	Зазор между диффузионными шинами, мкм.....	3
22	Максимальное расстояние между контактами к подложке и карману, мкм.....	24

23	Зазор между областями охраны, мкм.....	3
24	Зазор $n^+ - n^+$, мкм.....	0 или 3
25	Зазор $p^+ - p^+$, мкм.....	0 или 3
26	Размер контактного окна к металлизации, мкм ²	100×100
27	Размер контактных площадок (металлизации), мкм ²	120×120
28	Перекрытие слоев охраны кармана, мкм.....	6
29	Расстояние между контактами, мкм.....	≥ 2

Вертикальные размеры типовой структуры, мкм

1	Толщина подложки.....	380 ± 20
2	Глубина залегания примеси в кармане.....	$x_j = 6,0 \pm 1,0$
3	Глубина залегания примеси в истоках-стоках.....	$x_{j p^+} = 0,7 \pm 0,07$ $x_{j n^+} = 1,2 \pm 0,1$
4	Глубина залегания области подлегирования n^+ -подложки..	$x_j = 0,8 \pm 0,2$
5	Глубина залегания области подлегирования p^+ -кармана....	$x_j = 0,9 \pm 0,1$
6	Толщина SiO ₂ над областями подлегирования («толстый» полевой оксид).....	$d = 1,1 \pm 0,1$
7	Толщина SiO ₂ под затвором.....	$d = 0,08 \pm 0,005$
8	Толщина межслойного SiO ₂	$d = 0,35 \pm 0,03$
9	Толщина поликремния.....	$d = 0,6 \pm 0,05$
10	Толщина пассивации.....	$d = 0,25 \pm 0,02$
11	Толщина Al-металлизации.....	$d = 1,0 \pm 0,1$
12	Ширина дорожки скрайбирования.....	≥ 100

Точность воспроизведения размеров, мкм

1	Уход размера на фотолитографии после задубливания (на сторону)..	0,25
2	Величина рассовмещения двух соседних слоев на контактной фотолитографии	0,8
3	Величина рассовмещения любых слоев на контактной фотолитографии	1,2

4	Уход размеров на фотолитографии «карман» при травлении (на сторону)	0,2
5	Уход размеров на фотолитографии «контакты» при травлении оксида (на сторону)	0,25
6	Уход размеров при плазменнохимическом травлении поликремния (на сторону)	0,2
7	Уход размеров на фотолитографии «металлизация» при травлении алюминия (на размер).....	2,5

Электрофизические параметры типовой структуры

Концентрация примеси в кремниевой подложке: $N_{np} = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$

Концентрация примеси подлегирования в p -областях: $N_A = 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$

Концентрация примеси в областях истоков-стоков - p^+ : $N_A^+ = (4...8) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$

Концентрация примеси в областях истоков-стоков - n^+ : $N_D^+ = 8 \cdot 10^{19} \dots 2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$

Сопротивление областей:

R_s - кармана $2,75 \pm 0,25 \text{ кОм}/\square$

R_s - n^+ -типа $20 \pm 10 \text{ кОм}/\square$

R_s - p^+ -типа $20 \pm 10 \text{ кОм}/\square$

R_s - поликремния $\leq 30 \text{ Ом}/\square + 5 \text{ Ом}/\square$

Пороговые напряжения и удельная крутизна, приведенная к единице ширины затвора:

Вариант	$U_{0n}, \text{ В}$	$K_{0n, \text{ уд.}}, \text{ мкА}/\text{В}^2 \text{ мкм}$	$U_{0p}, \text{ В}$	$K_{0p, \text{ уд.}}, \text{ мкА}/\text{В}^2 \text{ мкм}$
1	0,8	6,5	-1,2	4,5
2	1,2	9,0	-0,8	3,5

Пробивное напряжение:

$$U_{np.n.} \geq 13 \text{ В};$$

$$U_{np.p.} \geq 13 \text{ В}.$$

Контактные сопротивления:

1 Al - n^+ при $S_k = 36 \text{ мкм}^2$ 20-30 Ом

2 Al - p^+ при $S_k = 36 \text{ мкм}^2$ 20-30 Ом

3 Al - поликремний⁺ при $S_k = 36 \text{ мкм}^2$ 15-30 Ом

Удельная емкость «затвор-подзатворный SiO₂-подложка» (без емкости обедненной области):

$$C_{з-п} = 4,3 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}/\text{см}^2 \pm 10\%$$

Удельная емкость «затвор-подложка (карман)» с учетом обедненного слоя канала:

$$C_{з-п}(\text{об.}) = 9,4 \cdot 10^{-9} \text{ Ф/см}^2 \pm 10\%$$

$$C_{з-к}(\text{об.}) = 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ Ф/см}^2 \pm 10\%$$

Удельная емкость «поликремний - толстый оксид -подложка»:

$$C_n = 3,45 \cdot 10^{-9} \text{ Ф/см}^2 \pm 10\%$$

Удельная емкость Al-SiO₂ (пирол.) – поликремний:

$$C = 9,9 \cdot 10^{-9} \text{ Ф/см}^2 \pm 10\%$$

Удельная емкость Al - (SiO₂ подзатв. + SiO₂ пирол.) – подложка:

$$C = 8,0 \cdot 10^{-9} \text{ Ф/см}^2 \pm 10\%$$

Удельная емкость Al - (SiO₂ толст. + SiO₂ пирол.) – подложка:

$$C_n = 2,6 \cdot 10^{-9} \text{ Ф/см}^2 \pm 10\%$$

Удельная емкость переходов, Ф/см²

Вид перехода	Смещение	
	0 В	5 В
n^+ – карман (подложка)	$4,2 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$
p^+ -подложка (карман)	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$0,4 \cdot 10^{-8}$

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березин А.С., Мочалкина О.Р. Технология и конструирование интегральных микросхем: Учеб. пособие для вузов.- 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1992. – 320 с.
2. Попов В.Д. Надежность и контроль качества интегральных микросхем. В 2-х ч. Ч.1. Надежность интегральных микросхем: Текст лекций. М.: МИФИ, 1995. – 68 с.