

Министерство образования Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Кафедра микроэлектроники

**В.В. НЕЛАЕВ**

**У Ч Е Б Н О Е   П О С О Б И Е**

**ВВЕДЕНИЕ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКУ**

для курсов лекций и лабораторных работ по дисциплинам

**“Расчет и проектирование элементов интегральных схем  
и полупроводниковых приборов”,**

**“Основы САПР в микроэлектронике”,**

**“Моделирование технологических процессов  
и элементов интегральных схем”,**

**“Физика активных элементов интегральных схем ”**

для студентов специальности Т. 07. 01 “Микроэлектроника”

МИНСК 1999

Министерство образования Республики Беларусь

Нелаев В.В. Учебное пособие “ВВЕДЕНИЕ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКУ” для курсов лекций и лабораторных работ по дисциплинам “Расчет и проектирование элементов интегральных схем и полупроводниковых приборов”, “Основы САПР в микроэлектронике”, “Моделирование технологических процессов и элементов интегральных схем” и “Физика активных элементов интегральных схем” для студентов специальности Т. 07. 01 “Микроэлектроника”. Мн.: БГУИР, 1999. - 38 с.

Учебное пособие представляет собой руководство и описание компьютерной обучающей программы “ВВЕДЕНИЕ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКУ”. Автор программы Э. Сикард – профессор Тулузского университета, Франция. Обучающая программа предназначена для изучения основных разделов микроэлектроники: моделирования МОП и биполярных транзисторов, диодов и конденсаторов, технологических процессов изготовления и 3-мерного моделирования, изучению базовых логических элементов (КМОП инверторов, логических вентилях, арифметических устройств, триггеров и элементов памяти, счетчиков, умножителей, КМОП аналоговых усилителей, аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей). Приводятся сведения и рассматриваются различные примеры использования правил проектирования приборов микроэлектроники.

С В.В.Нелаев, 1999

## Введение

Обучающая программа "Введение в микроэлектронику" состоит из трех отдельных программ: PROF, 3D и MSK.

Программа PROF рассчитывает характеристики MOS (МОП) и биполярных транзисторов, а также диодов на p-n-переходах.

Программа 3D позволяет просмотреть отдельный прибор в трех измерениях и исследовать процесс его изготовления.

Программа MSK предназначена для проектирования и моделирования интегральных схем. Эта программа содержит библиотеку логических и аналоговых интегральных схем, а также редактор формирования маски. Программа Circuit Simulation (моделирование схемы) автоматически осуществляет экстракцию электрических параметров схемы, а аналоговое моделирование завершается построением вольт-амперных характеристик прибора.

Программа Process Simulator выдает вертикальное сечение топологии прибора после завершения процесса его формирования. Программа Logic Cell Compiler позволяет осуществлять автоматическое проектирование КМОП схемы в соответствии с ее логическим описанием. Проектирование логической ячейки осуществляется в соответствии с правилами проектирования и спецификациями ее изготовления. Имеется набор стандартных процессов изготовления 2-metal CMOS (КМОП) и BiCMOS (БиКМОП) приборов.

Глава 1 пособия посвящена моделированию МОП приборов с использованием программы PROF. В главе 2 приведены сведения о процессах изготовления и 3-мерном моделировании. Глава 3 посвящена CMOS инверторам, глава 4 - базовым логическим вентилям, глава 5 - арифметическим устройствам. Триггеры и элементы памяти рассмотрены в главе 6. В главе 7 рассматриваются другие приборы - счетчики, умножители, CMOS аналоговые усилители, аналогово-цифровые и цифроаналоговые преобразователи. Физические процессы и соответствующие модели, используемые в данном пакете программ, описаны в главе 8 с подробным объяснением правил проектирования. Сведения о работе с программами и описание команд приведены в главе 9. Списки используемых файлов и команд для быстрого поиска представлены в главе 10, а руководство для преподавателя – в главе 11.

Программный комплекс "Введение в микроэлектронику" используется почти в 500 учебных заведениях Европы и мира для изучения курса микроэлектроники.

Учебное пособие представляет собой дополненный и исправленный перевод руководства "Introduction to Microelectronics" (автор – Etienne Sicard), изданного в Тулузе, Франция, в 1995 году. В частности, исправлены в соответствии с ГОСТом обозначения стандартных компонентов интегральных схем.

Автор выражает благодарность преподавателям кафедры "Микроэлектроника" БГУИР Колосницину Б.С., Косаревичу Е.М. и Пачинину В.И. за полезные советы при подготовке пособия и студентам факультета

радиоэлектроники БГУИР Гарницкому Д.С., Кудрявцеву П.А. и Куренкову Д.В. за помощь при оформлении иллюстраций.

## 1. Изучение МОП и биполярных приборов (программа PROF)

Для запуска программы PROF войдите в подкаталог, где находится программное обеспечение (по умолчанию MICRO), наберите на клавиатуре **PROF** и нажмите **ENTER**. После экрана презентации программы появится экран, показанный на рис.1.

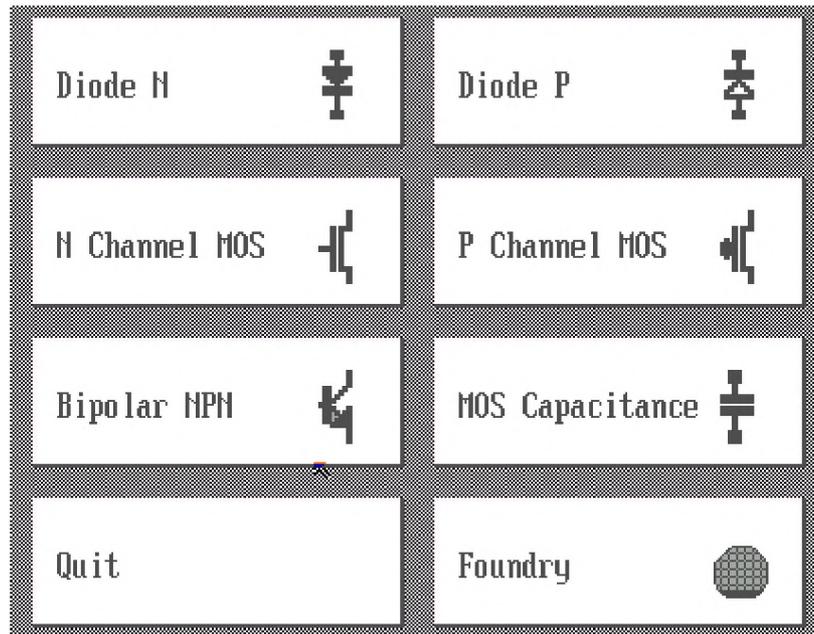


Рис.1. Начальное меню

Программа PROF позволяет моделировать диоды, МОП и биполярные транзисторы, а также МОП-конденсаторы.

Отметьте режим **N-Channel-MOS** с помощью мыши. Использование программы PROF в режиме моделирования MOS транзистора с индуцированным n-каналом представлено на рис. 2.

Поликремневый затвор располагается над каналом и разделяет диффузионную область на две зоны – одна, называемая исток, расположена слева, а другая, называемая сток, расположена справа, как показано на рис. 2. В правой части окна показан вид прибора сверху.

Геометрические размеры транзистора представляются в относительной величине  $\lambda$ , зависящей от технологии. Величина  $\lambda$  равна половине минимальной длины затвора. Например, при заданной по умолчанию технологии ES2 CMOS 1.2 мкм минимальная длина затвора равна 1.2 мкм, следовательно,  $\lambda = 0.6$  мкм. При использовании этой технологии длина канала равна  $2\lambda$ , что соответствует 1.2 мкм, ширина канала равна  $4\lambda$ , что соответствует 2.4 мкм.

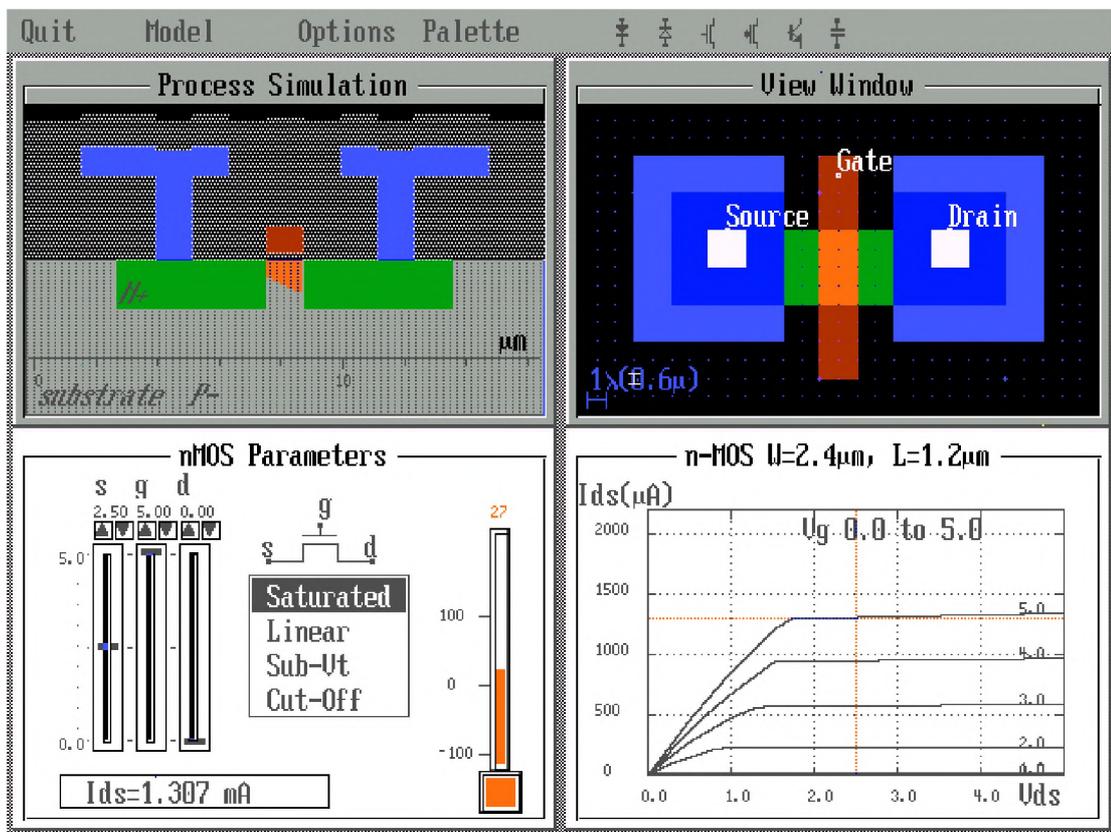


Рис. 2. Экран программы PROF включает четыре основных окна: вид прибора сверху, его вертикальное сечение, ВАХи и панель управления

Под окном моделирования процесса расположена панель управления. Для изменения значений напряжения на стоке, истоке или затворе следует использовать мышь или клавиши "+" и "-" клавиатуры.

С помощью панели управления можно контролировать значение тока, протекающего между стоком и истоком ( $I_{ds}$ ), режим работы прибора (подпороговый, насыщения, линейный или отсечки), а также рабочую температуру прибора, которая отображается с помощью "термометра".

В правом нижнем окне экрана представляются выходные вольт-амперные характеристики N-MOS транзистора.

### Ввод значений $V_d$ , $V_g$ , и $V_s$

Для ввода новых значений напряжений на истоке  $V_s$ , стоке  $V_d$  и затворе  $V_g$  используется мышь. При этом можно увидеть, как изменяются ВАХи, значения токов и режимы работы транзистора при изменении значений  $V_d$ ,  $V_g$ , и  $V_s$ .

Чтобы исследовать влияние  $V_d$ ,  $V_g$ , и  $V_s$  на пороговое напряжение, установите  $V_d = 0$  V,  $V_g$  и  $V_s$ , равными 5.0 V, и постепенно уменьшайте величину  $V_g$ . Можно оценить предельное значение  $V_g$ , ниже которого ток между истоком и стоком падает до заданного низкого значения (например, 1 мкА). Это предельное значение  $V_g$  представляет собой пороговое напряжение прибора (примерно 0.8 V для 1.2 мкм технологии).

Другой способ исследований MOS транзистора состоит в использовании сток-истоковой характеристики прибора. Используйте последовательность **Options** → **Id/Vg**. Появится экран, показанный на рис. 3. Используйте клавиши "+" или "-" для изменения масштаба оси  $I_{ds}$ .

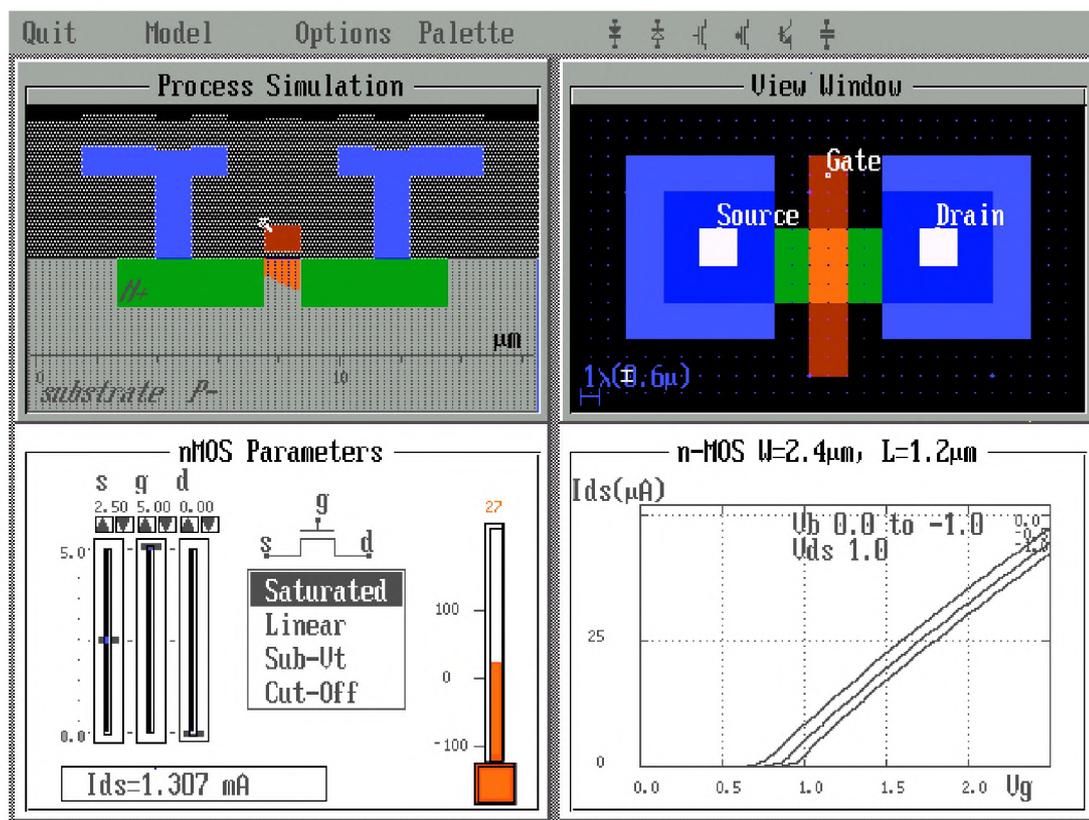


Рис. 3. Изменение вольт-амперных характеристик n-МОП прибора с использованием меню **Options**: могут быть выведены зависимости  $I_d/V_d$ ,  $I_d/V_g$  и  $I_d/V_g$

В линейный режим работы N-MOS транзистора можно войти только при условии, если  $V_g \geq V_d$ . В противоположном случае прибор будет работать в режиме насыщения.

### Изменение параметров МОП прибора

Параметры MOS транзистора, такие как ширина, длина, напряжение питания и технологические характеристики могут быть изменены пользователем программы. Чтобы увеличить ширину канала прибора, следует выполнить следующие действия:

Нажмите **Options** в главном меню.

Нажмите параметр **MOS Width** в подменю (см. рис. 4).

Используйте клавиатуру, чтобы установить новое значение ширины канала в единицах  $\lambda$ . Например, наберите **8** и нажмите **Enter**.

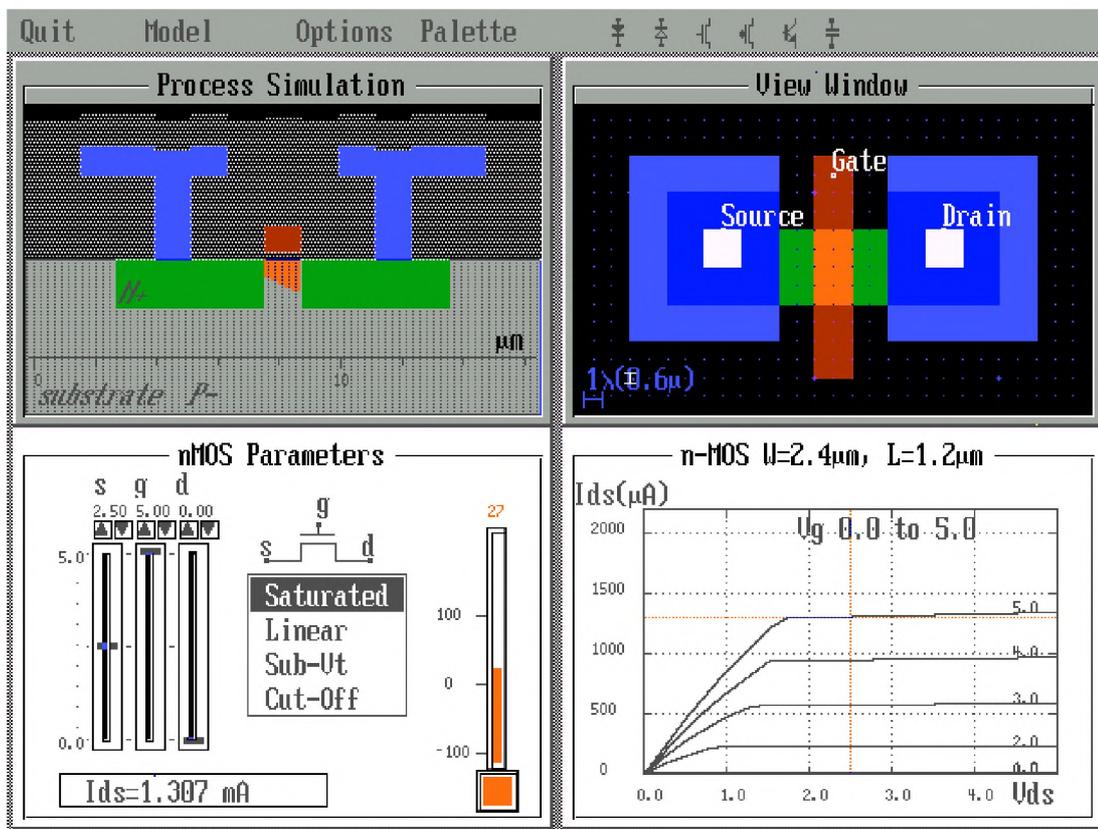


Рис. 4. Изменение ширины канала N-MOS транзистора оказывает влияние на  $I_d/V_d$  характеристики, на ток между истоком и стоком  $I_{ds}$ , а также на топологию транзистора

Изменяя длину и ширину канала, можно исследовать их влияние на быстродействие MOS транзистора.

### Сток-затворные ( $I_d/V_g$ ) характеристики

Нажмите **Options** в главном меню и затем  **$I_d/V_g$** . Появится график зависимости тока  $I_d$  от напряжения на затворе  $V_g$  для различных значений  $V_d$  (рис. 5).

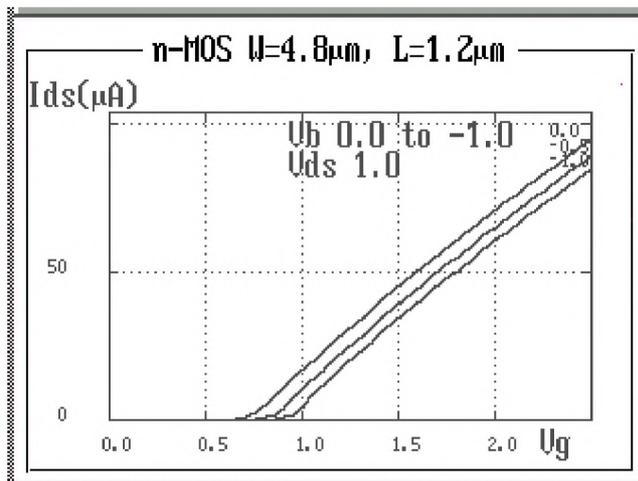


Рис. 5.  $I_d/V_g$  характеристики MOS транзистора

Зависимость  $I_d/V_g$  может быть выведена и в логарифмическом масштабе. Нажмите Options в главном меню и далее  $I_d(\log)/V_g$ . Зависимость в логарифмическом масштабе тока  $I_d$  MOS транзистора от напряжения на затворе  $V_g$  для  $V_d=1V$  при различных значениях напряжения на подложке  $V_b$  показаны на рис.6. Видно, что при значениях  $V_g$  ниже  $V_t$  уменьшение тока  $I_{ds}$  подчиняется экспоненциальному закону.

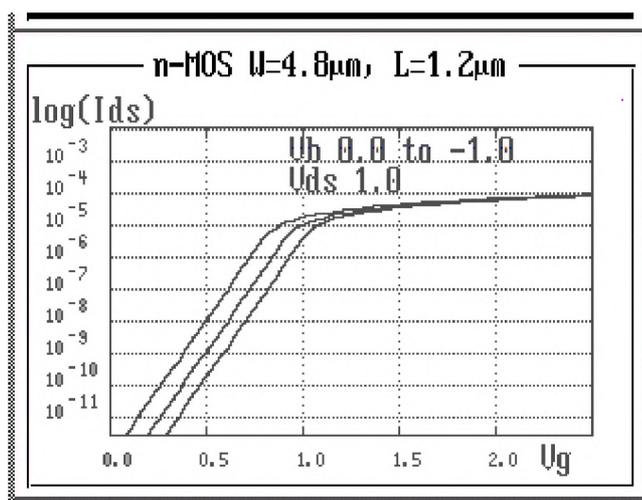


Рис. 6.  $I_d/V_g$  характеристики MOS транзистора в логарифмическом масштабе

### Изменение температуры

Установите курсор внутри “термометра” панели управления и нажмите исполнительную клавишу мыши (или выберите **Options** - > **Temperature**), чтобы установить новое значение температуры. При уменьшении температуры (см. рис. 7) рабочие характеристики МОП транзистора улучшаются.

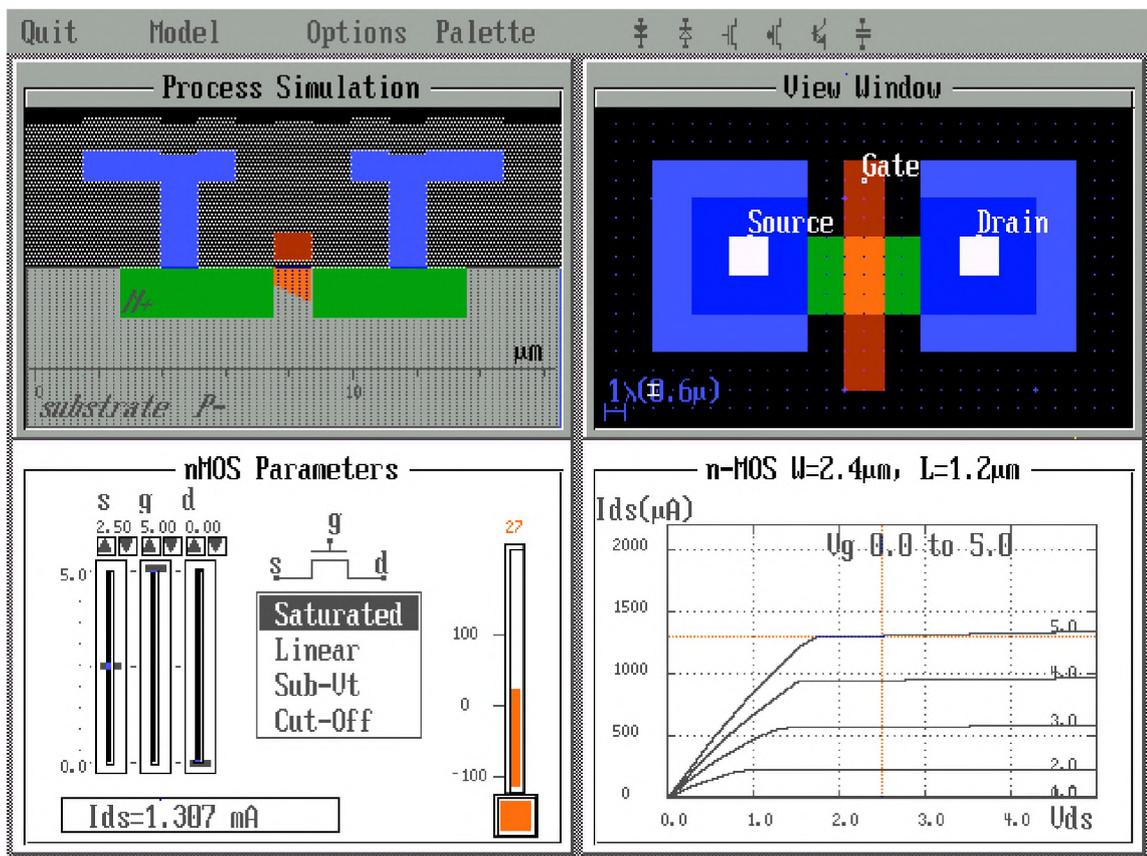


Рис. 7. Уменьшение температуры приводит к повышению быстродействия MOS транзистора

### Модель МОП транзистора

Для расчета тока  $I_{ds}$  между истоком и стоком в зависимости от  $V_d$ ,  $V_g$  и  $V_s$  используются следующие выражения согласно упрощенной версии программы SPICE Level 3:

РЕЖИМ ОТСЕЧКИ ( $V_{gs} < 0$ )

$$I_{ds} = 0.$$

НОРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ ( $V_{gs} > V_{tn}$ )

$$I_{ds} = K_{eff} \frac{W}{LEFF} (1 + KAPPA \cdot V_{ds}) V_{de} \left( (V_{gs} - V_{to}) - \frac{V_{de}}{2} \right).$$

ПОДПОРОГОВЫЙ РЕЖИМ ( $V_{gs} < V_{on}$ )

$V_{ds}$  заменяется на  $V_{on}$  в приведенных выше выражениях.

$$I_{ds} = I_{ds}(V_{on}, V_{ds}) e^{\frac{q(V_{gs} - V_{on})}{nkT}}$$

В этих формулах  $W$  - ширина канала,  $L$  - длина канала,  $V_t$  - пороговое напряжение.  $V_{tn}$  - пороговое напряжение для n-канального, а  $V_{tp}$  - для p-канального MOS транзистора. Параметр  $K$  рассчитывается согласно следующим формулам:

$$K(n) = \mu_n \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon S / tox,$$

$$K(p) = \mu_p \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon S / tox,$$

где (при условии 1.0 мкм технологии):

$$\mu_n = 510V \cdot cm^{-2},$$

$$\mu_p = 270V \cdot cm^{-2},$$

$$tox = 20nm,$$

$$n = 2,$$

$$k = 1.381e - 23,$$

$$T = 300^\circ K.,$$

$$q = 1.6e - 19,$$

$$k1 = 1e - 3,$$

$$\epsilon S = 8.85e - 14.$$

Температурные эффекты учитываются с помощью выражений:

$$\mu_n = \mu_n 0(T - 300)e(-1.5),$$

$$\mu_p = \mu_p 0(T - 300)e(-1.5),$$

$$V_t = V_t 0 - 0.002(T - 300).$$

### **Исследование параметров МОП транзистора в приближении программы SPICE Level 3**

Нажмите **Options** в главном меню и далее **MOS Parameters**. Появится экран, изображенный на рис. 8. Можно изменять значения параметров МОП транзистора непосредственно на экране и просмотреть эффект их влияния на результаты моделирования.

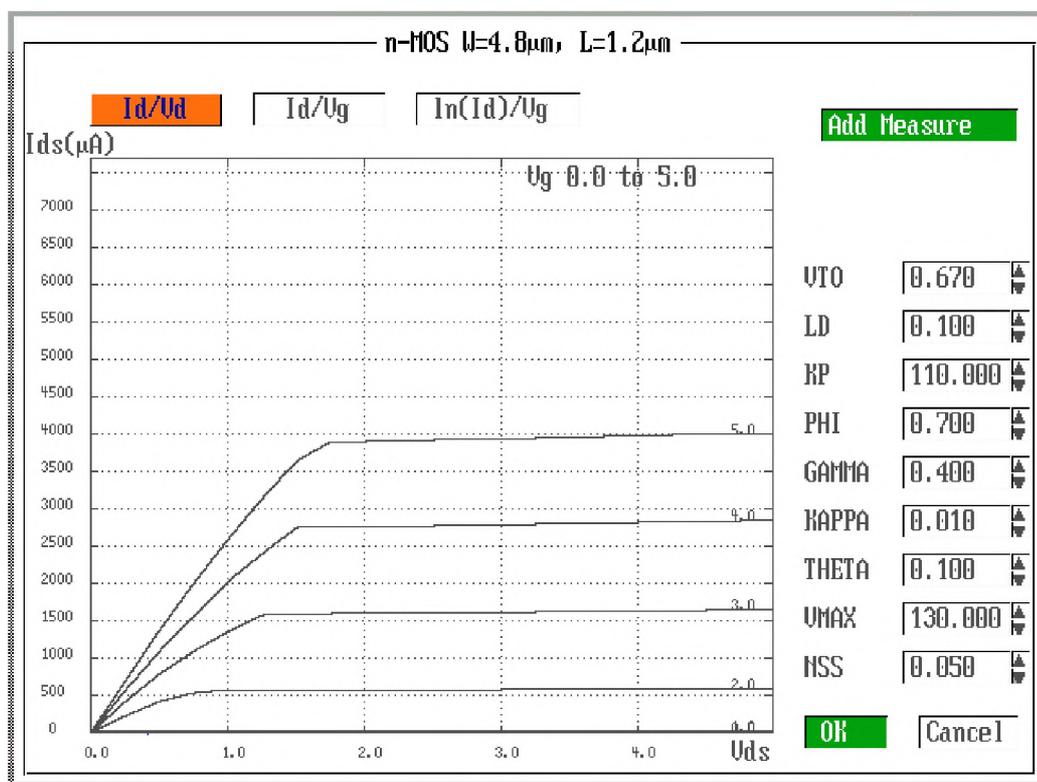


Рис. 8. Пользовательский интерфейс для изменения значений параметров программы SPICE Level 3

### Подгонка модельных расчетов к результатам измерений

Нажмите **Add Measure**. На экране появится список файлов с расширением **.mes**. Выберите файл **N93X1\_2.MES**. В этом файле содержатся результаты измерений, выполненных на реальном МОП приборе с размерами  $W=20$  мкм и  $L=1.2$  мкм, изготовленном по ES2 1.2 мкм технологии (файл ES212.RUL). Результаты измерений добавляются к графикам результатов моделирования, как показано на рис. 9, а.

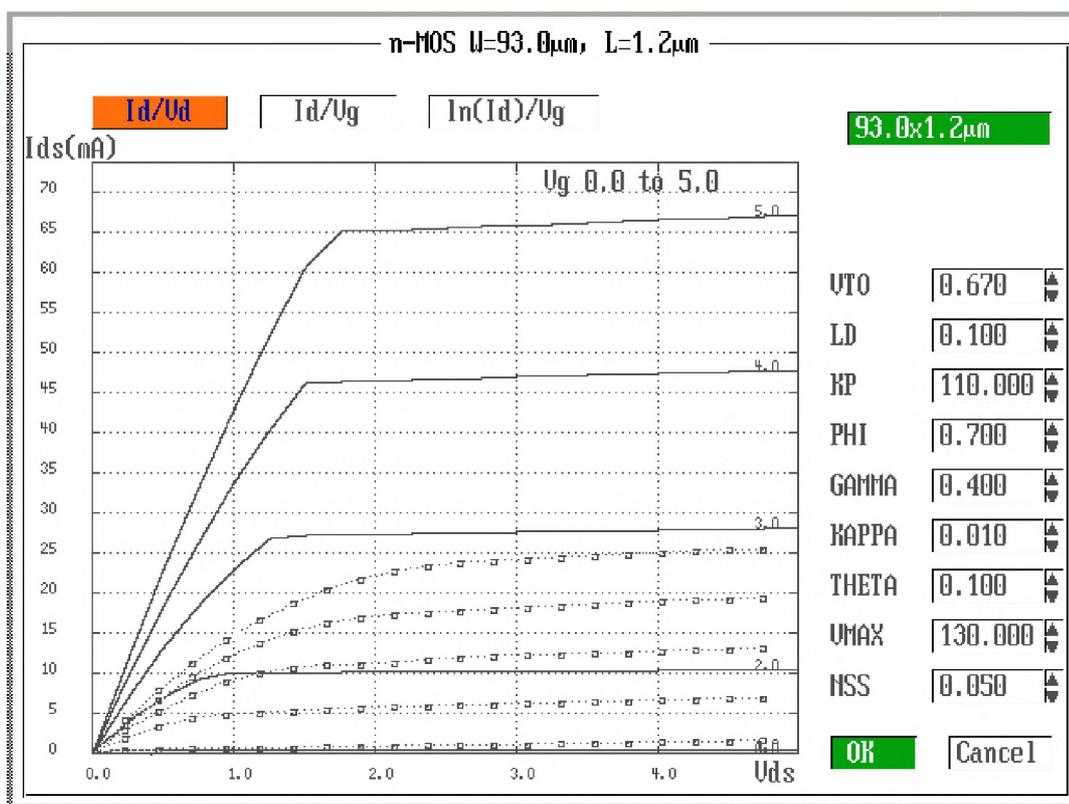


Рис. 9, а. Данные результатов измерений добавляются к результатам моделирования (файл N93X1\_2.MES)

Процедура подгонки результатов моделирования к результатам измерений заключается в следующем:

Нажмите **Options** - > **Id/Vg**. Кривые, показанные на рис. 9, б, используются для подгонки величины  $V_{to}$ . Уменьшите  $V_{to}$  до 0.6 V, чтобы сдвинуть кривые вправо. Результат показан на рис. 9, в.

Увеличьте **THETA**, чтобы изогнуть кривую. Можно использовать величину **GAMMA**, чтобы скоррелировать шаг между кривыми. В рассматриваемом случае значение **GAMMA** по умолчанию оказывается правильным (рис. 9, г).

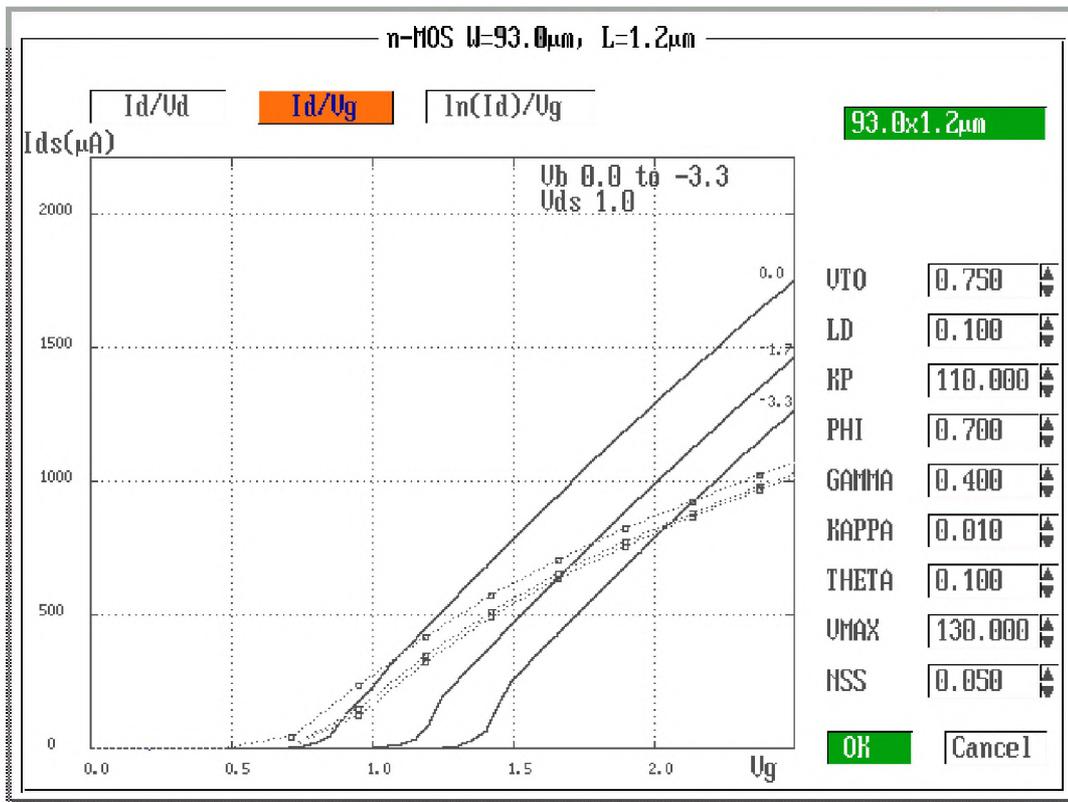


Рис. 9, б

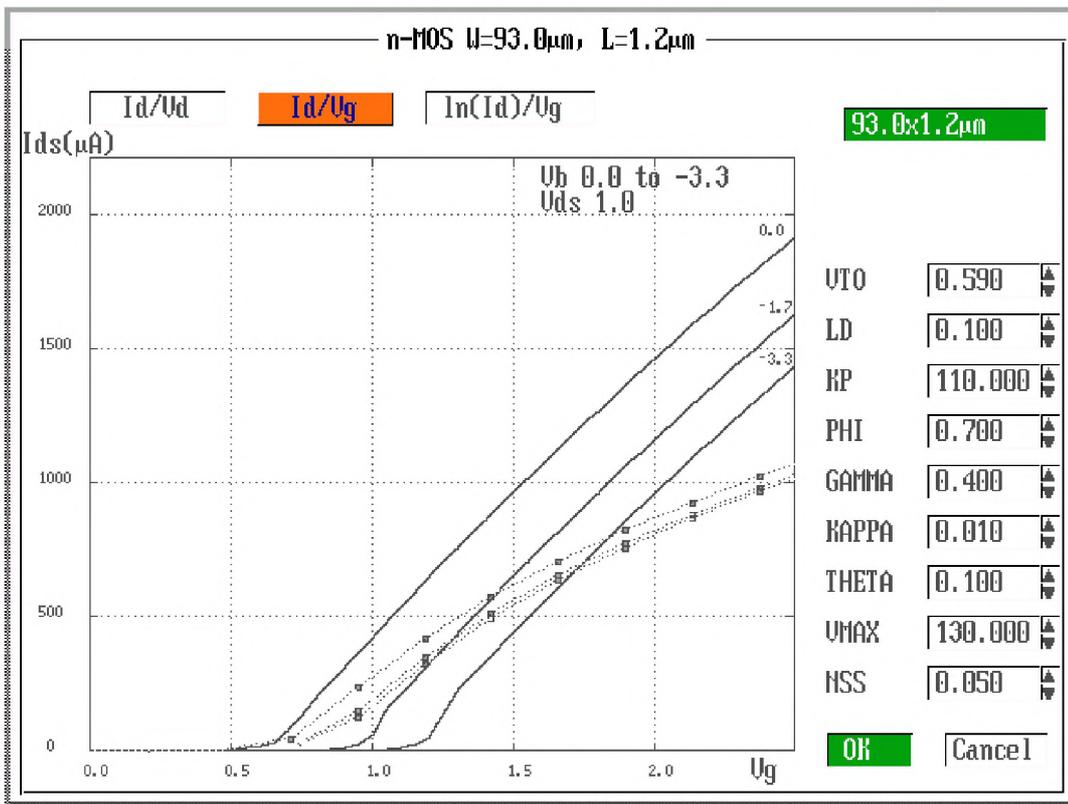


Рис. 9, в

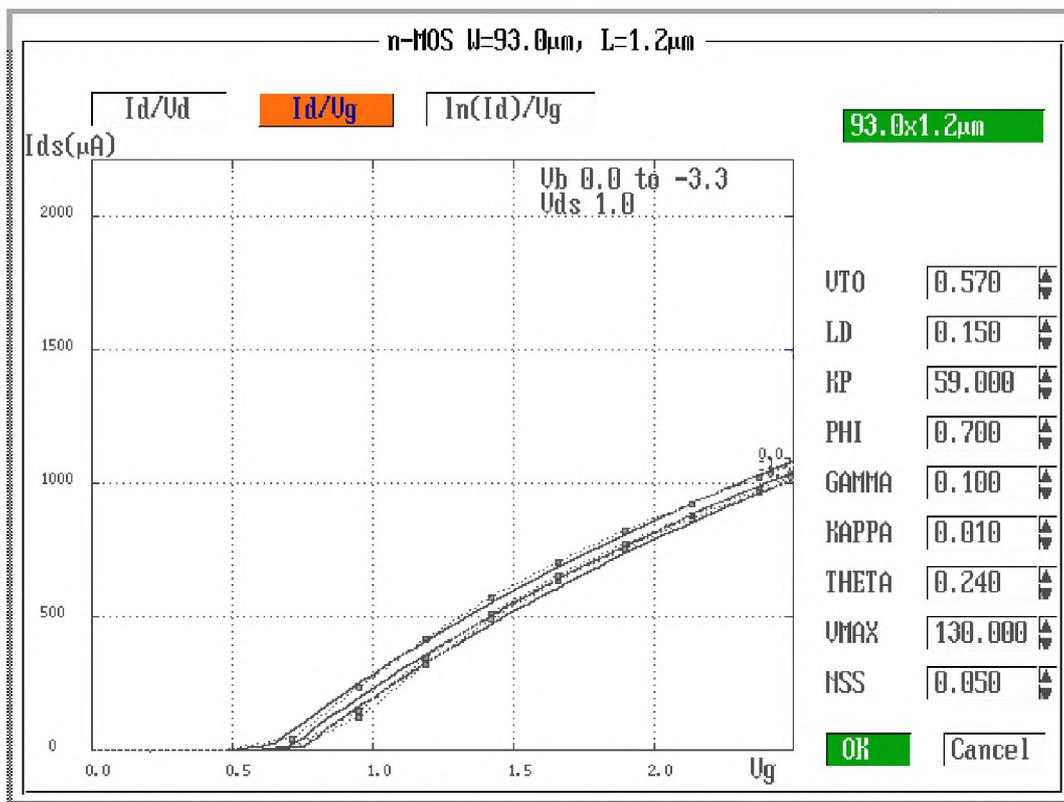
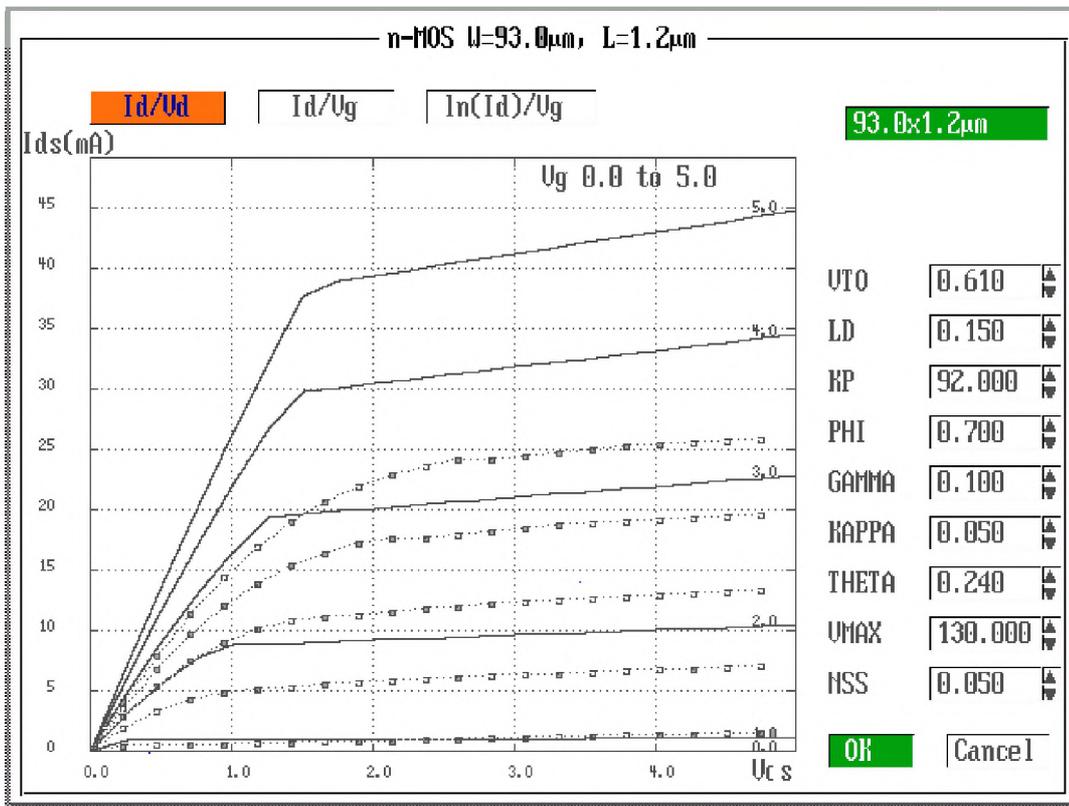


Рис. 9, г

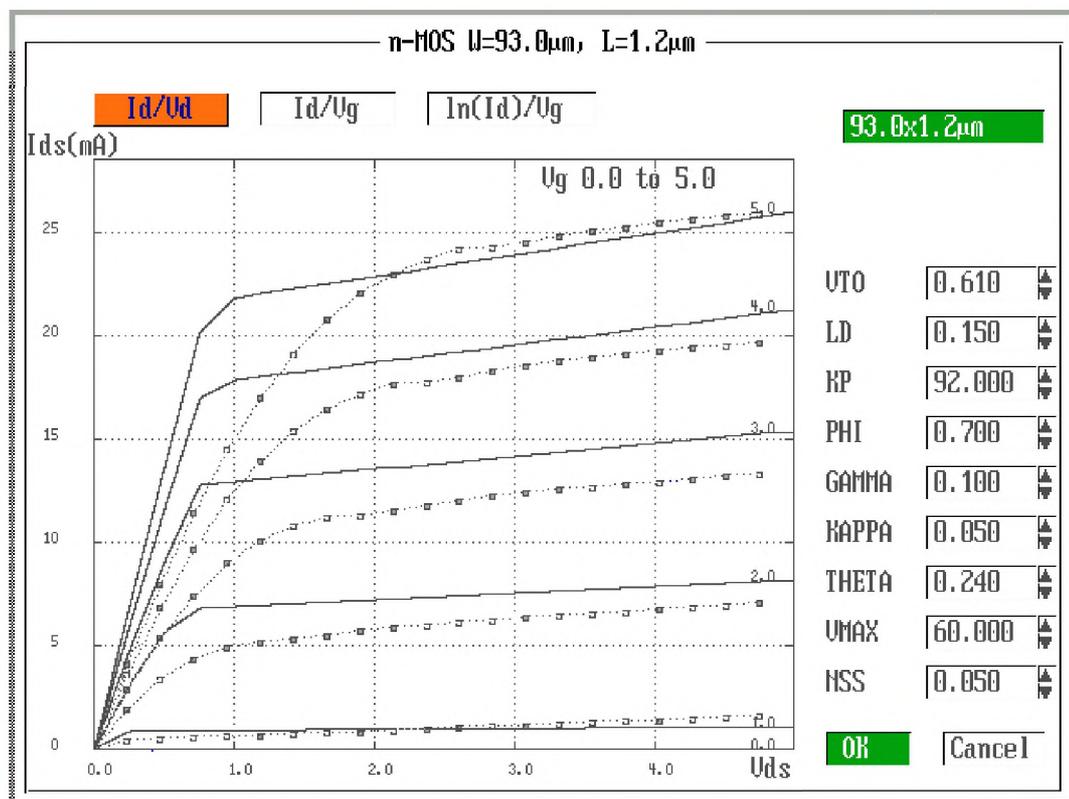
Рис. 9 (б, в, г). Подгонка модельных расчетов к результатам измерений (файл N93X1\_2.MES)

Нажмите **Options** - > **Id/Vd**. Кривая, показанная на рис.10, а, используется для подгонки величин **KP** и **VMAX**. Увеличение **KP** приводит к “заострению” зависимостей  $I_{ds}$  при низких значениях  $V_{ds}$ . Затем уменьшите значение **VMAX**, чтобы получить кривую, изображенную на рис. 10, б.

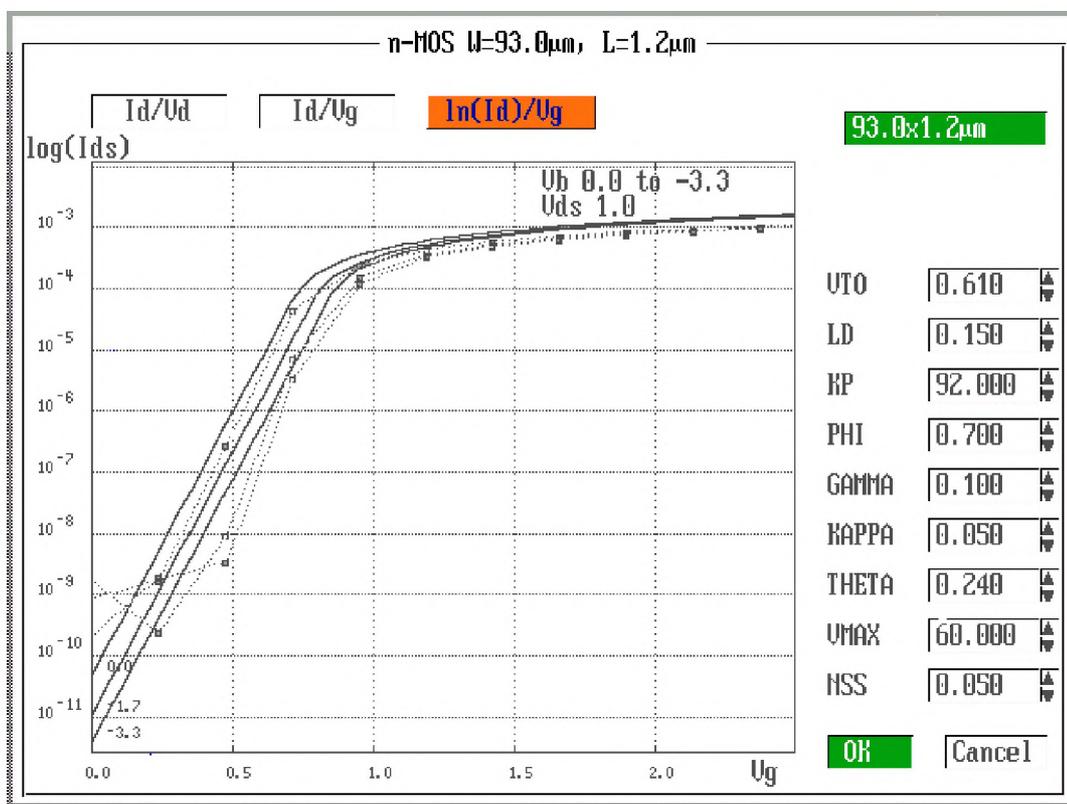
Нажмите **Options** - > **Id(log)/Vd**. Проверьте, что наклон кривой правилен в подпороговом режиме. Если невозможно подкорректировать наклон кривой, используйте величину **NSS**. Обратите внимание, что предел измерений имеет порядок **nA**. поэтому надежные данные не могут быть получены ниже  $10^{-9}$  А (рис. 10, в).



10, a



10, b



10, в

Рис. 10 (а, б, в). Подгонка модельных расчетов к результатам измерений (файл N93X1\_2.MES)

Нажмите **ОК**, чтобы вернуться в обучающую программу PROF. Измененные параметры не включаются в текущий файл описания процесса. В текущем файле описания процесса сохраняются прежние параметры, и они будут использоваться в следующем сеансе. Содержание файла описания процесса можно изменить вручную. Информация о синтаксисе файла описания процесса приведена в разделе 8.

### Другие результаты измерений, имеющиеся в базе данных программы

ES2 1.2 мкм технология

N93x1\_2.MES Измерения для W=93.0 мкм, L=1.2 мкм n-МОП транзистора.

P93x1\_2.MES Измерения для W=93.0 мкм, L=1.2 мкм p-МОП транзистора.

N20x1\_2.MES Измерения для W=20.0 мкм, L=1.2 мкм n-МОП транзистора.

P20x1\_2.MES Измерения для W=20.0 мкм, L=1.2 мкм p-МОП транзистора.

ES2 0.8 мкм технология

N72x0\_8.MES Измерения для W=72.0 мкм, L=0.8 мкм n-МОП транзистора.

P72x0\_8.MES Измерения для W=72.0 мкм, L=0.8 мкм p-МОП транзистора.

N20x0\_8.MES Измерения для W=20.0 мкм, L=0.8 мкм n-МОП транзистора.

## PMOS (р-МОП) транзистор

Моделирование р-канального транзистора осуществляется таким же образом, как и моделирование п-канального транзистора. Нажмите **P-Channel MOS** в начальном меню. Появится окно, изображенное на рис. 11. Используются те же команды, что и при моделировании п-канального МОП транзистора. Отметим, что рМОС прибор работает медленнее, чем пМОС, что иллюстрируется соответствующими ВАХами при одинаковых размерах прибора. Вертикальный разрез рМОС прибора включает п-карман (N-Well), в который вводится р-примесь.

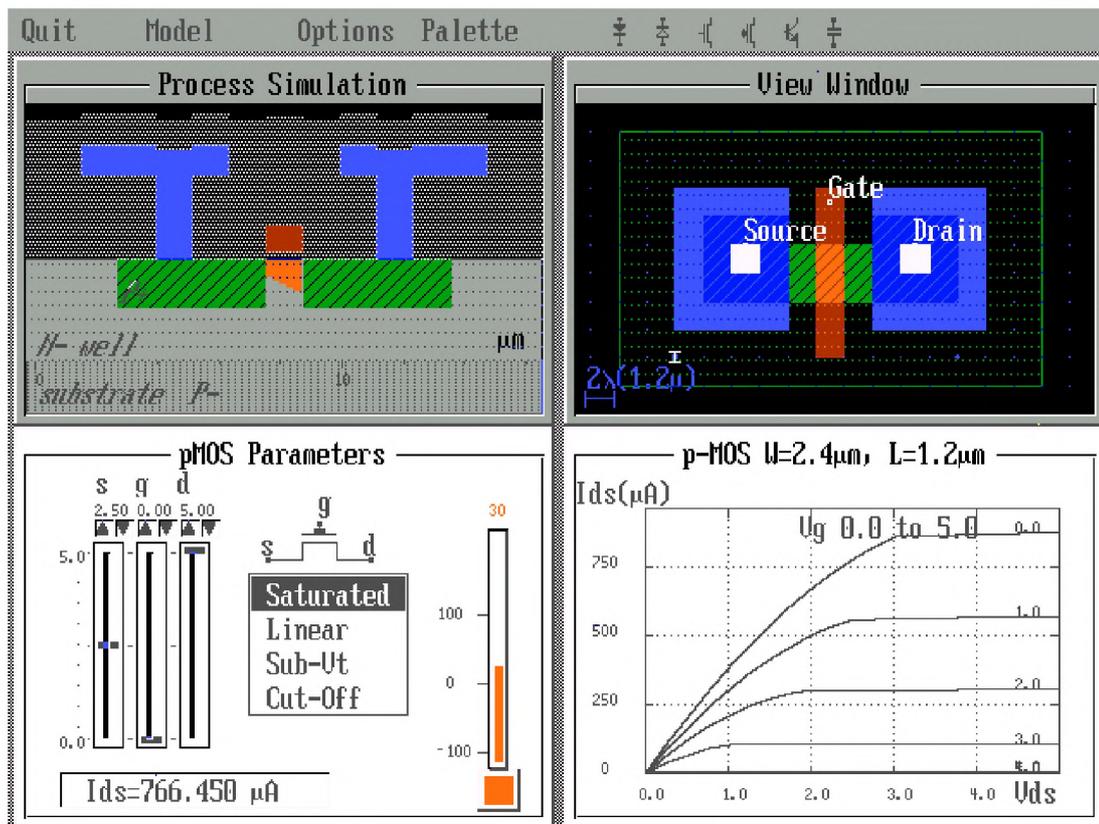


Рис. 11. Моделирование р-канального МОП транзистора

## N+/P - диод

Нажмите **Diode N** в главном меню. Этот диод используется в схемах защиты на входах интегральных схем, чтобы исключить возможность подачи отрицательных напряжений внутри схемы. Если не использовать такой диод, то окисел затворов, соединенных с входом, будет разрушен.

Экран с результатами моделирования N+/P диода представлен на рис.12. Топология диода включает N+ диффузионную область (эмиттер или катод К) в P-подложке, окруженную P+ контактами (база или анод К). Диод открывается, если напряжение на эмиттере составляет примерно - 0.6V по отношению к базе. При обратном включении диода ток очень мал (порядка нескольких пикоампер).

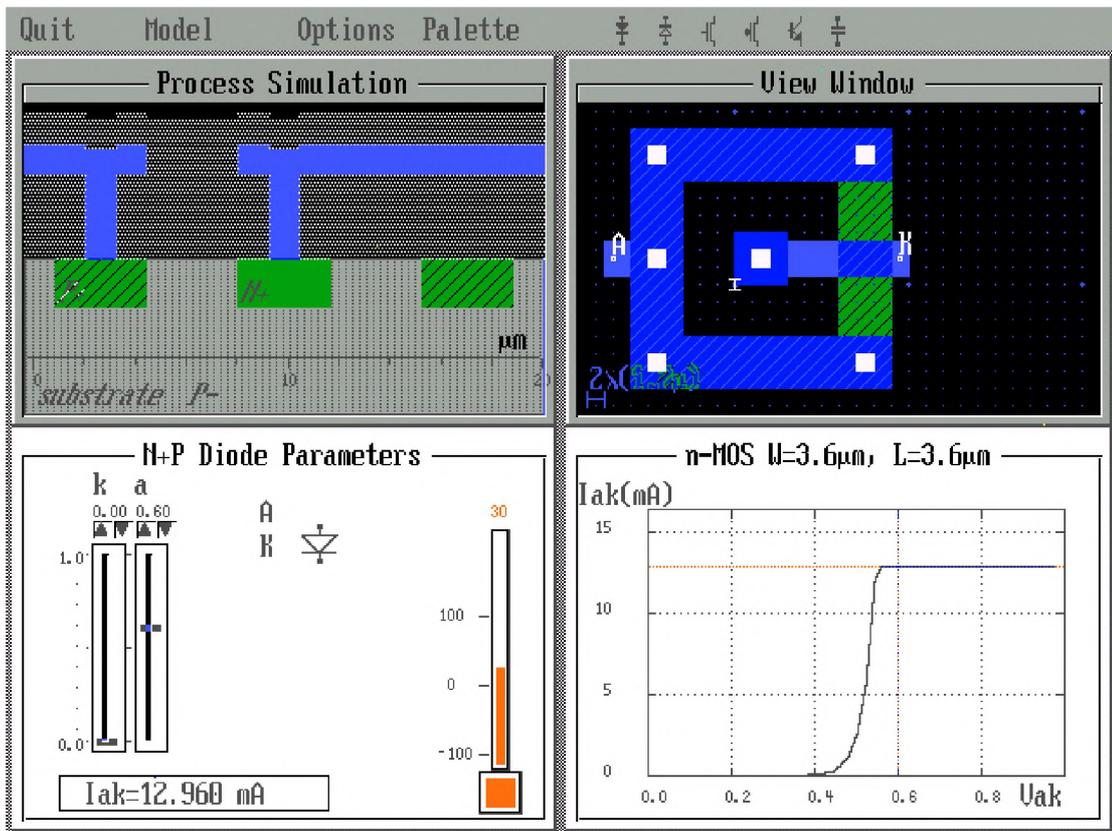


Рис. 12. Моделирование N+/P диода

### P+/N диод

Нажмите **Diode P** в главном меню. Этот диод также используется в схемах защиты вводов интегральных схем, чтобы исключить возможность подачи напряжений выше напряжения питания чипа внутри схемы.

Обычно подзатворный диэлектрик в 1.0 мкм технологии формирования КМОП прибора выдерживает напряжение на затворе в диапазоне 2 - 5 V. Напряжение на затворе, равное 10 V, может разрушить окисел и вызвать короткое замыкание.

Пример моделирования P+/N диода представлен на рис.13. Топология этого диода включает P+ диффузионную область в N-кармане (эмиттер или анод А), окруженную N+ контактами (база или катод К).

Диод открывается, если напряжение на эмиттере составляет примерно + 0.6V по отношению к базе. При обратном включении диода ток очень мал (порядка нескольких пикоампер).

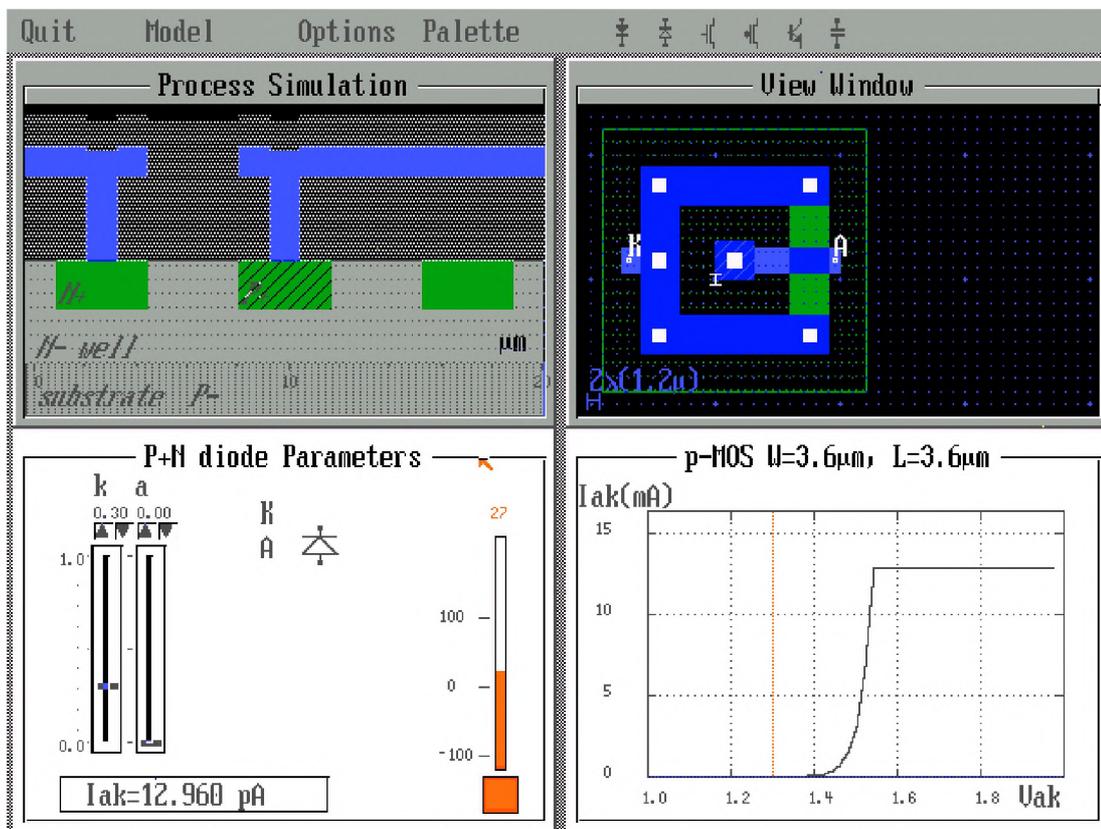


Рис. 13. Моделирование P+/N диода

### Биполярный транзистор

Нажмите **Foundry** в начальном меню и затем **AMS12**. Вы выбрали BiCMOS 1.2 мкм технологию. Нажмите **Bipolar NPN** в главном меню. Включается режим моделирования NPN биполярного транзистора, как показано на рис. 14. На рис.14 представлены ВАХи для  $V_b$  в диапазоне 0..0.6 V. Ток  $I_{ce}$  проявляет экспоненциальную зависимость от  $V_b$ . Если не учитывать эффект Эрли, то в активной области работы транзистора ток  $I_c$  не зависит от напряжения  $V_{ce}$ . Наклон тока  $I_c$  определяет напряжение Эрли, которое обычно составляет 70-80 V. В вертикальном сечении NPN прибора видна область p-кармана,  $N^+$  контакт (Коллектор),  $P^{++}$  область внутри кармана (База) и  $N^+$  контакт (Эмиттер). За исключением высоко легированной  $P^{++}$  базы, все слои совместимы с процессом формирования КМОП прибора.

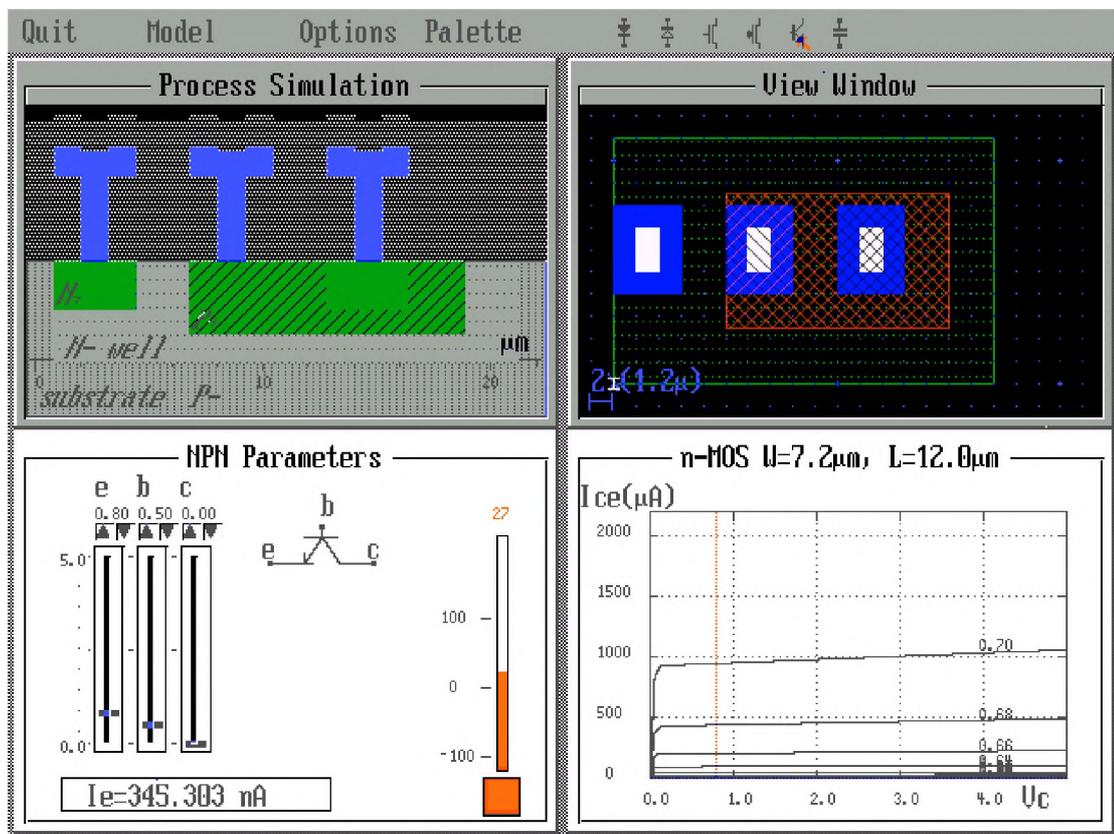


Рис. 14. Моделирование NPN биполярного транзистора

В режиме **Options** можно изменить ширину и длину базы и увидеть, что ток  $I_{se}$  пропорционален поверхности базы. Можно также изменить напряжение Эрли и посмотреть его влияние на характеристику  $I_{se}/V_c$ .

### МОП конденсатор

Нажав на иконку **MOS Capacitance** начального меню, можно провести изучение МОП конденсатора. На рис. 15 представлена структура такого конденсатора, представляющая собой последовательность слоев поликремний/подзатворный окисел/р-подложка. При напряжении на затворе  $V_g = 5.0 \text{ V}$  область под затвором обеднена носителями зарядов, что приводит к малой емкости. При напряжении на затворе  $0.0 \text{ V}$  область ниже затвора притягивает дырки, так что емкость уменьшается до емкости подзатворного окисла.

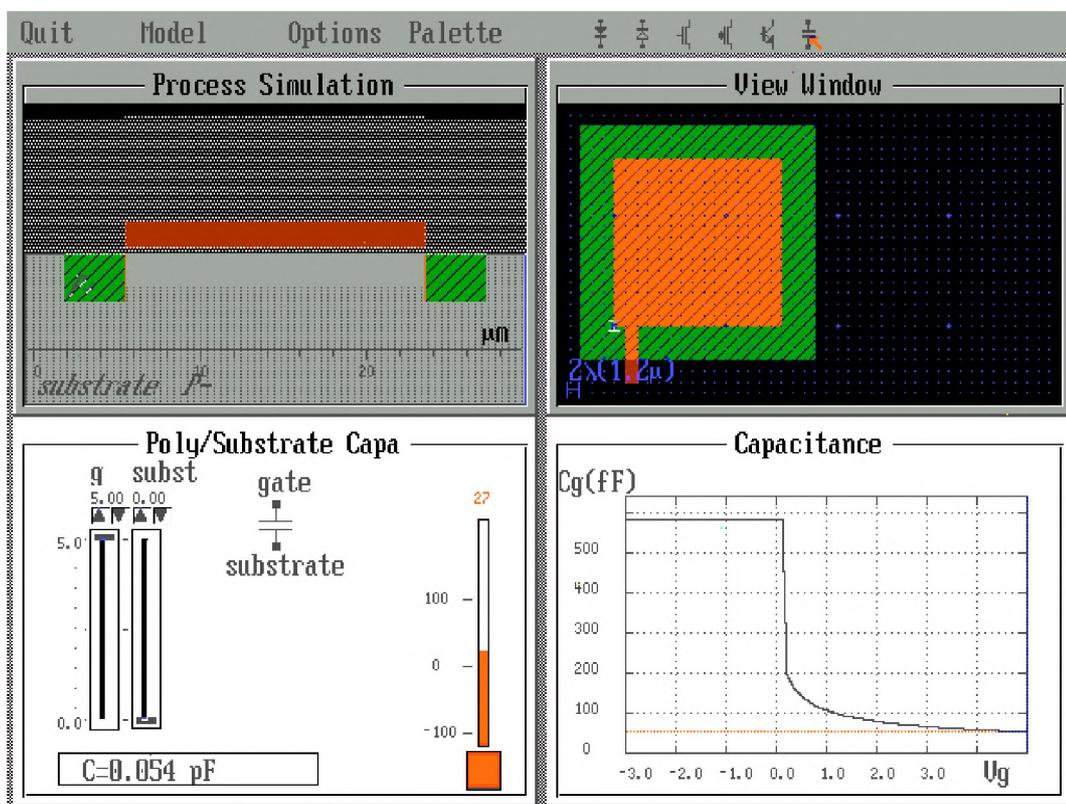


Рис. 15. Изучение MOS конденсатора

### Изменение параметров технологии

Иконка **Foundary** начального меню позволяет вызвать список технологических процессов изготовления ИС, имеющих в базе данных.

Таблица 1. Список КМОП технологий, имеющих в базе данных программы

Технология	Описание
ES212	ES2 1.2мкм КМОП технология
ES210	ES2 1.0мкм КМОП технология
ES208	ES2 0.8мкм КМОП технология
AMS12	AMS 1.2мкм БиКМОП технология
JESSI05	JESSI единая 0.5мкм КМОП технология
AFFO12	ABB HAFFO маломощная 1.2V 2мкм КМОП технология

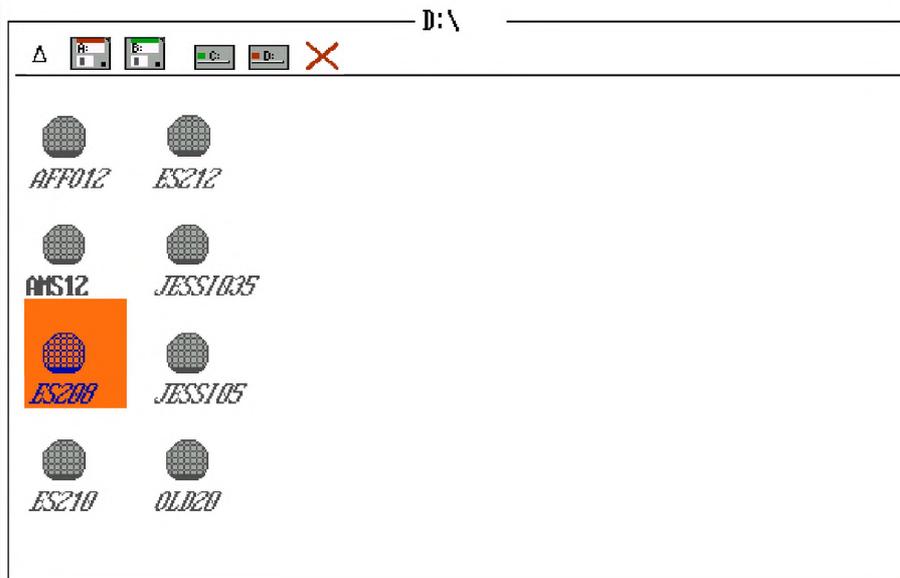


Рис. 16. Изменение технологии изготовления

## Выход из программы PROF

Нажмите **Quit** в главном меню. После подтверждения произойдет возврат в DOS.

## 2. Изучение процессов изготовления активных элементов ИС (программа 3D)

Для запуска программы 3D необходимо провести следующие действия:

1. Зайдите в подкаталог, где находится копия программы (по умолчанию – **MICRO**).
2. Наберите на клавиатуре **3d cmos** и нажмите **ENTER**.

Программа 3D позволяет просмотреть любой проект ИС в трех измерениях и исследовать процесс его изготовления. По команде **3d cmos** параметр **cmos** воспроизводит описание инвертора, включенного в файл **CMOS.MSK**. Структура CMOS (КМОП) инвертора представлена на рис. 17.

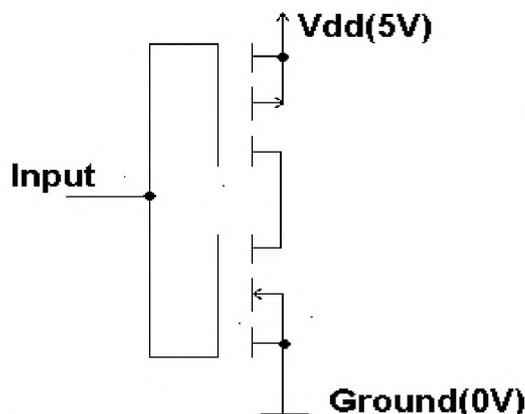


Рис.17. КМОП инвертор состоит из соединенных между собой

## nМОП (слева) и рМОП (справа) приборов

На рис. 18 показана слаболегированная подложка р-типа. Буква р означает, что в кремниевую подложку введен бор для создания акцепторного кремния. Знак “-” означает невысокое имплантационное легирование. Знак “+” означает высокое имплантационное легирование.

Топология проектируемой ИС изображается в небольшом окне, расположенном в правом нижнем углу экрана. Показана также палитра КМОП прибора.

Нажмите **Next Step**, чтобы начать моделирование процесса. Первая операция – имплантация n-кармана (рис. 19). Обычно используется мышь, чтобы получить карман n-типа.

Нажимая далее последовательно **Next Step**, проводим моделирование последующих операций формирования КМОП прибора: выращивание окисла, создание затвора, диффузию n- и p-примесей.

Оксидный слой располагается во всех сечениях между диффузионными  $n^+$  и  $p^+$  областями и слоем поликремния. Он представляет собой очень тонкий и хорошо контролируемый слой двуокиси кремния. Его обычная толщина составляет от 50 (3V 0.25 мкм КМОП технология) до 250 ангстрем (5V 1.5 мкм КМОП технология), т.е. 5-25 нм. Поликремниевый затвор осаждается поверх подзатворного окисла. Затем посредством имплантации бора создаются  $p^+$  - области, а посредством имплантации мышьяка формируются  $n^+$  -области (рис. 20).

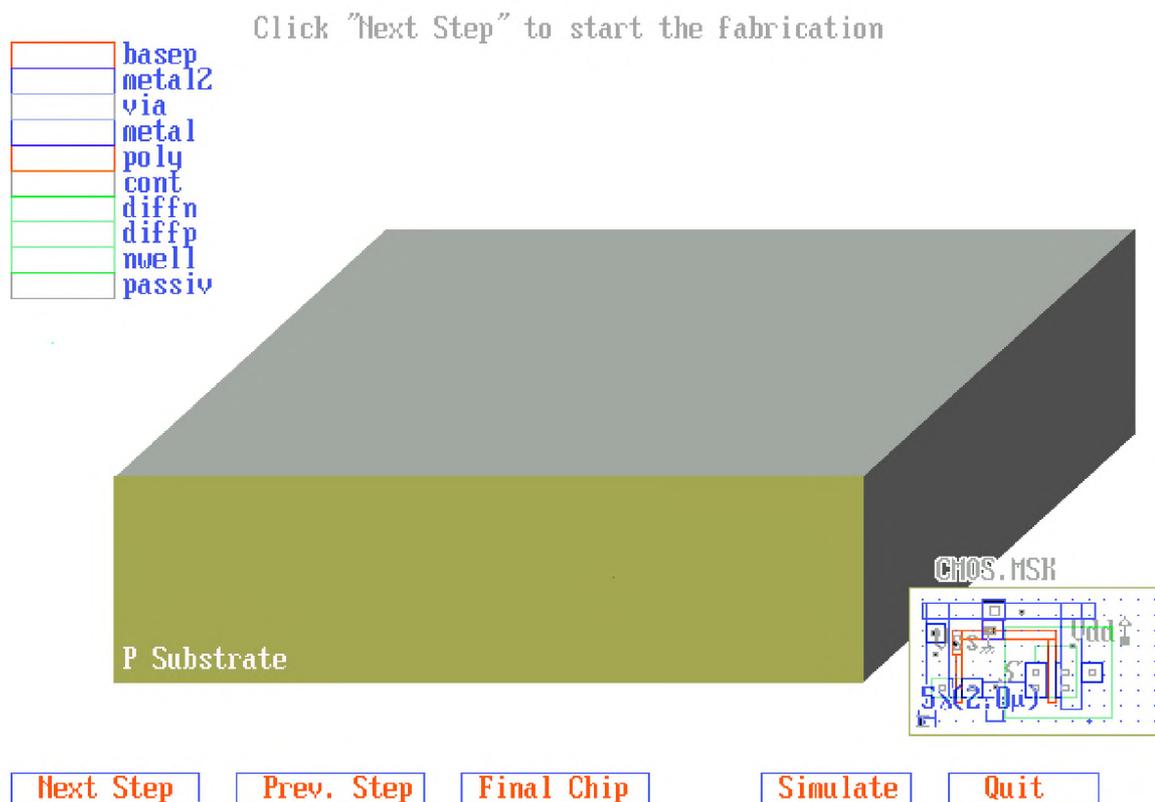


Рис. 18. Экранный вид 3D модуля

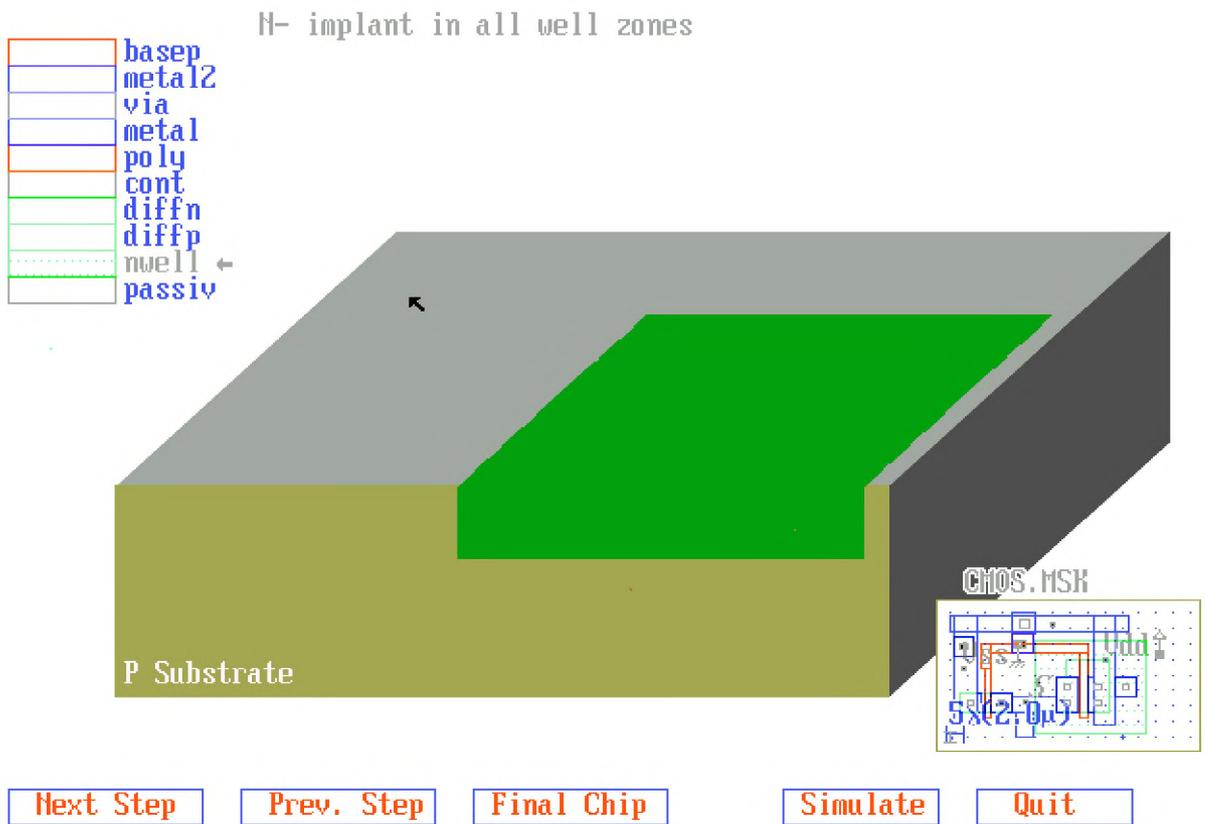
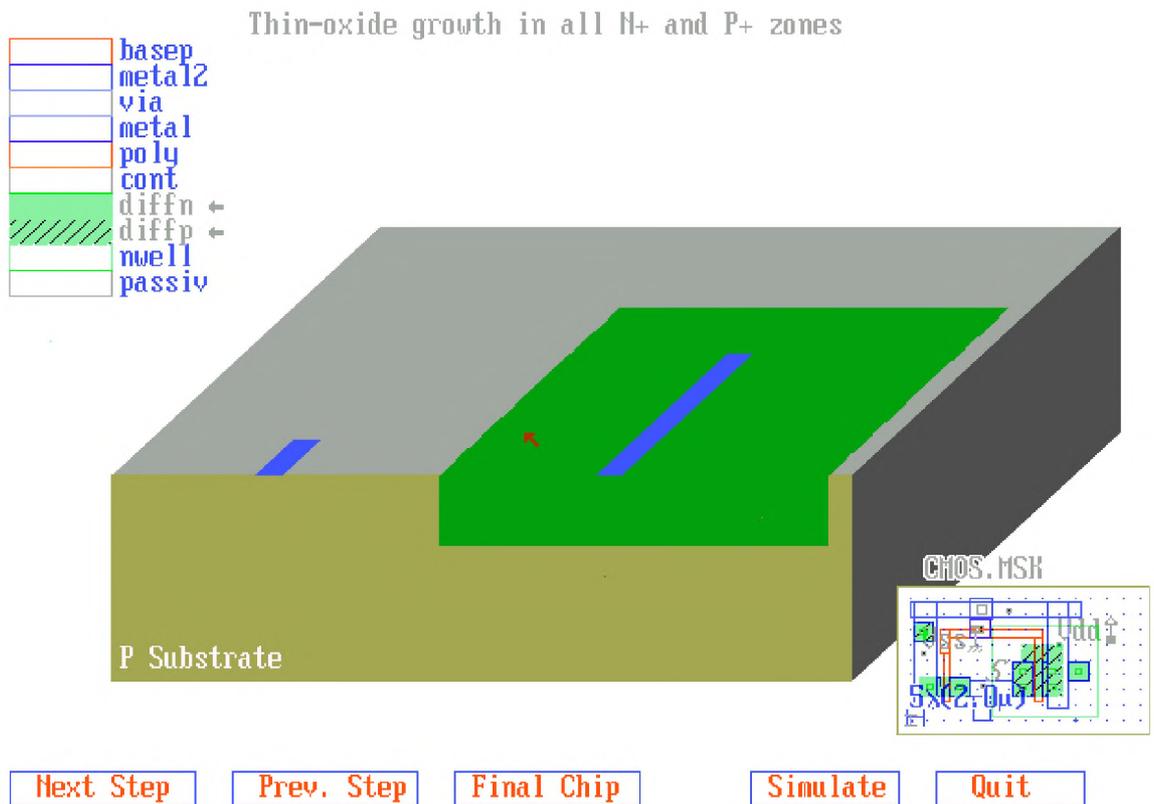


Рис. 19. N-карман P-МОП прибора



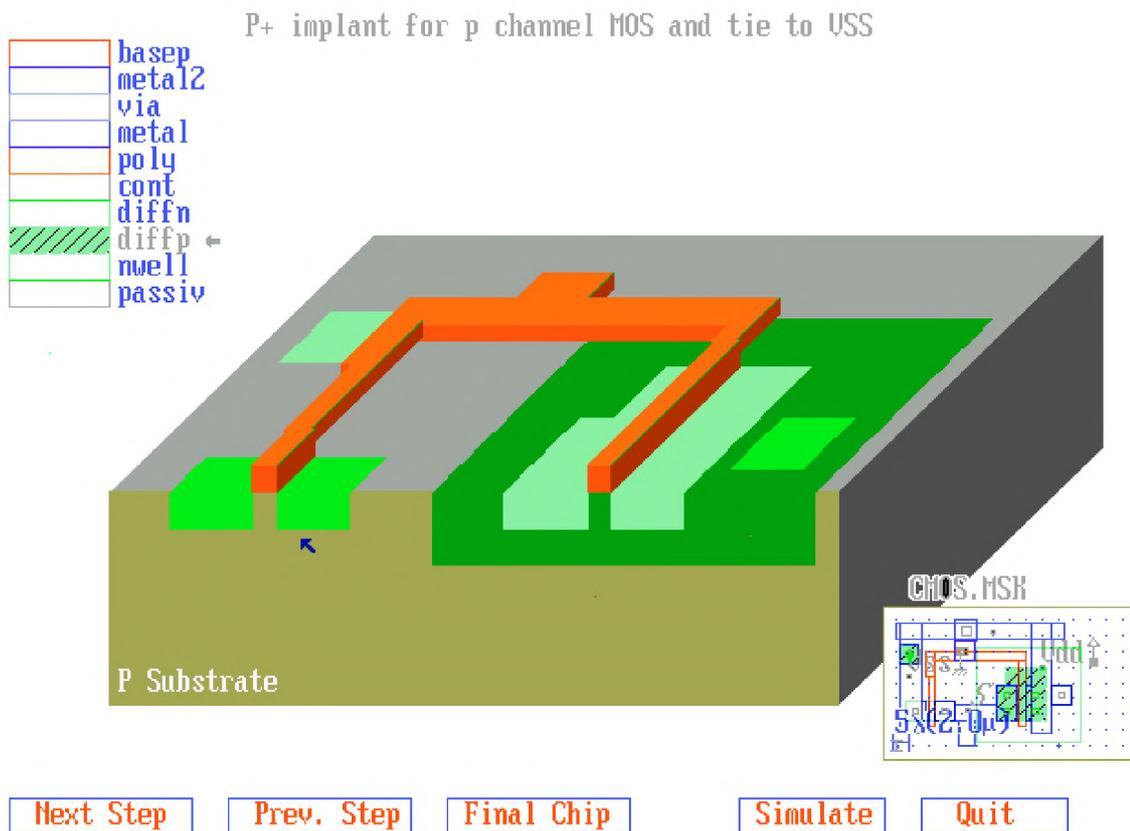
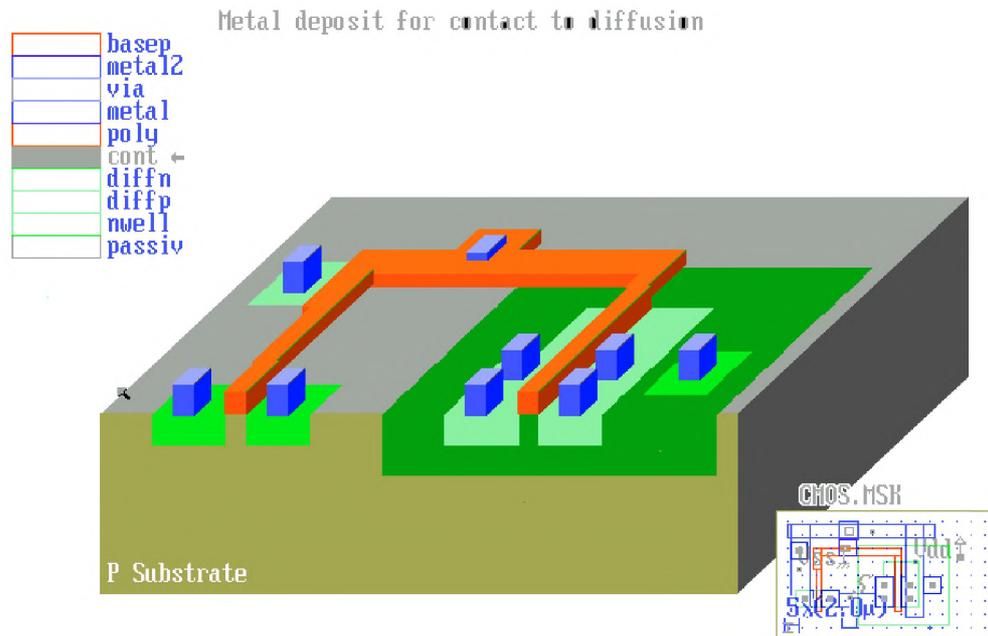
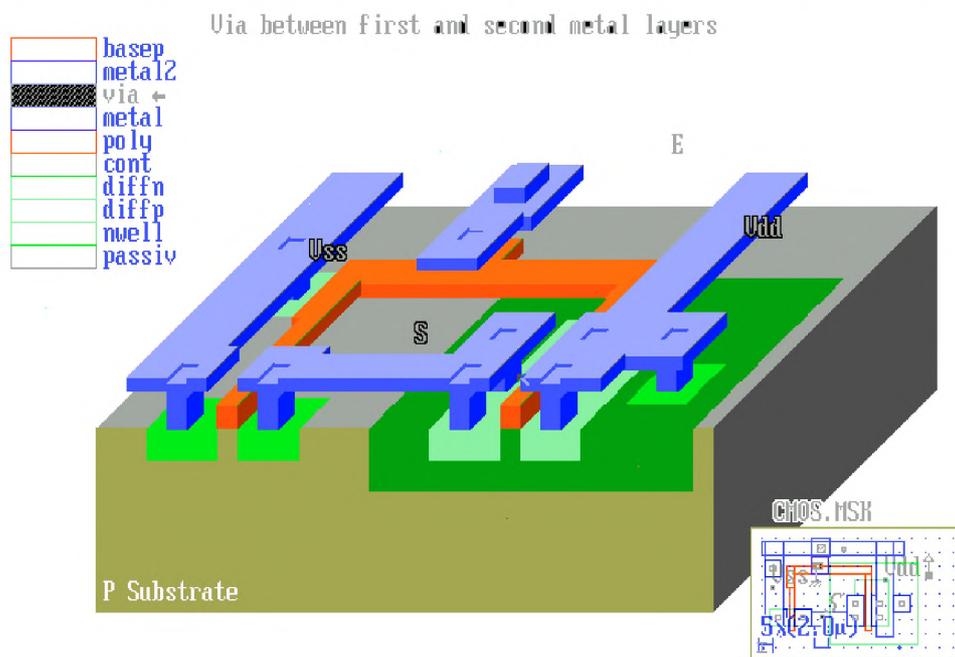


Рис. 20. Диффузионные этапы формирования КМОП инвертора (тонкий слой окисла во всех слоях и имплантация р-примеси для создания  $p^+$ -канала МОП прибора)

Процесс осаждения металла состоит из этапов формирования контактов к поликремнию и диффузионным областям, создания слоя металлизации (обычно алюминиевого) между первым и вторым металлическими слоями и, наконец, создания второго уровня металлизации. Каждый осажденный слой изолируется от другого посредством двуокиси кремния (для простоты это не показано на рисунках). На рис. 21 представлен вид ИС после создания слоя metal2.



Next Step Prev. Step Final Chip Simulate Quit



Next Step Prev. Step Final Chip Simulate Quit

Рис. 21. Трехмерное изображение КМОП инвертора (file CMOS.MSK) (осаждение металла для создания контакта с диффузионной областью и второй слой металла для создания межсоединений)

### Изменение масштаба

Нажмите на окно, представляющее собой вид сверху топологии ИС в правом нижнем углу экрана, чтобы зафиксировать одну сторону поверхности, выводимой на экран. Удерживая нажатой кнопку мыши, отпустите кнопку

мышь при достижении противоположного угла. После этого выделяемая часть ИС будет представлена на экране в трехмерном пространстве (рис. 22).

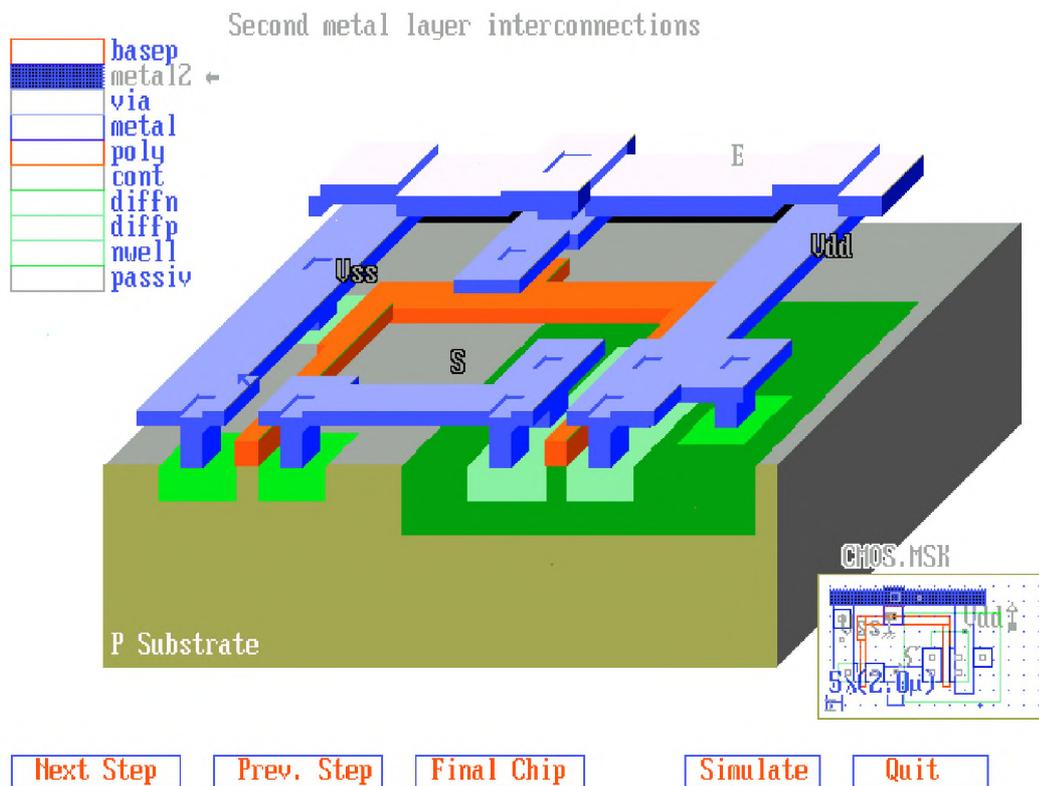


Рис. 22. Вид топологии при выборе определенной ее области

### Трехмерное изображение ячейки ОЗУ (RAM cell)

1. Нажмите **QUIT** (выход), чтобы выйти в DOS
2. Введите команду **3D RAM**
3. Нажмите **STEP** для запуска процесса моделирования

Топология этого прибора представляет собой ячейку RAM (ОЗУ). Схема ячейки ОЗУ показана ниже. Статическое ОЗУ состоит из двух инверторов и двух n-MOS транзисторов. Последовательность моделирования ячейки ОЗУ иллюстрируется рис.23.

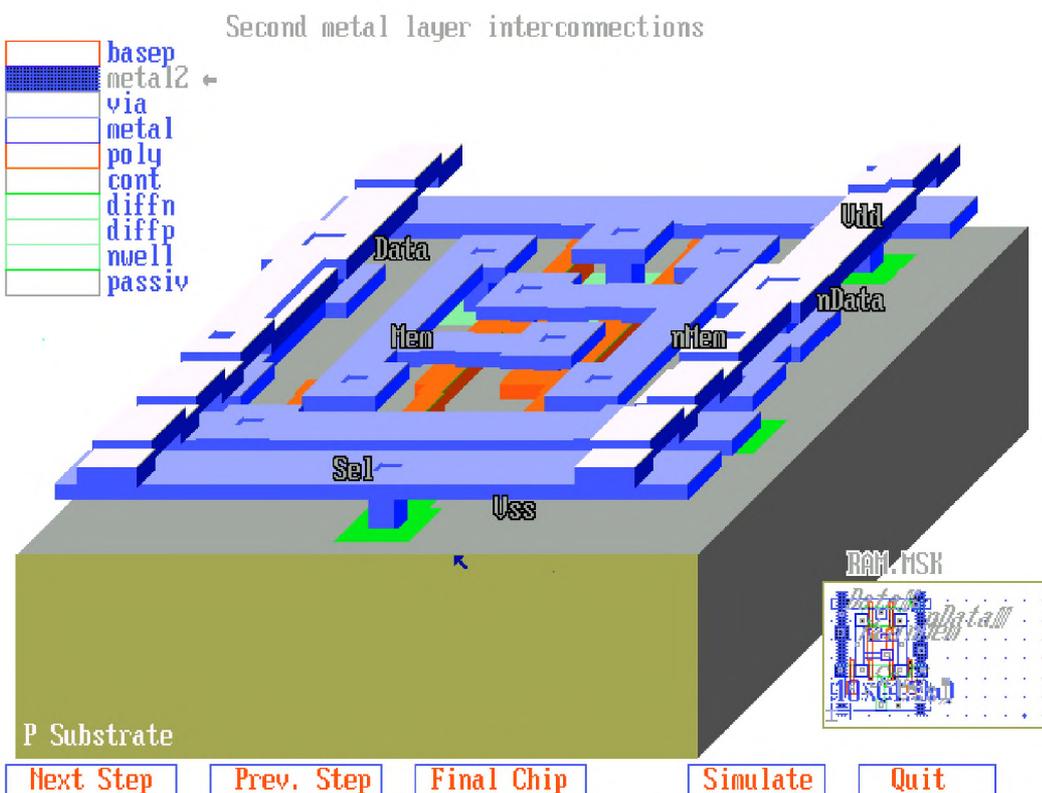
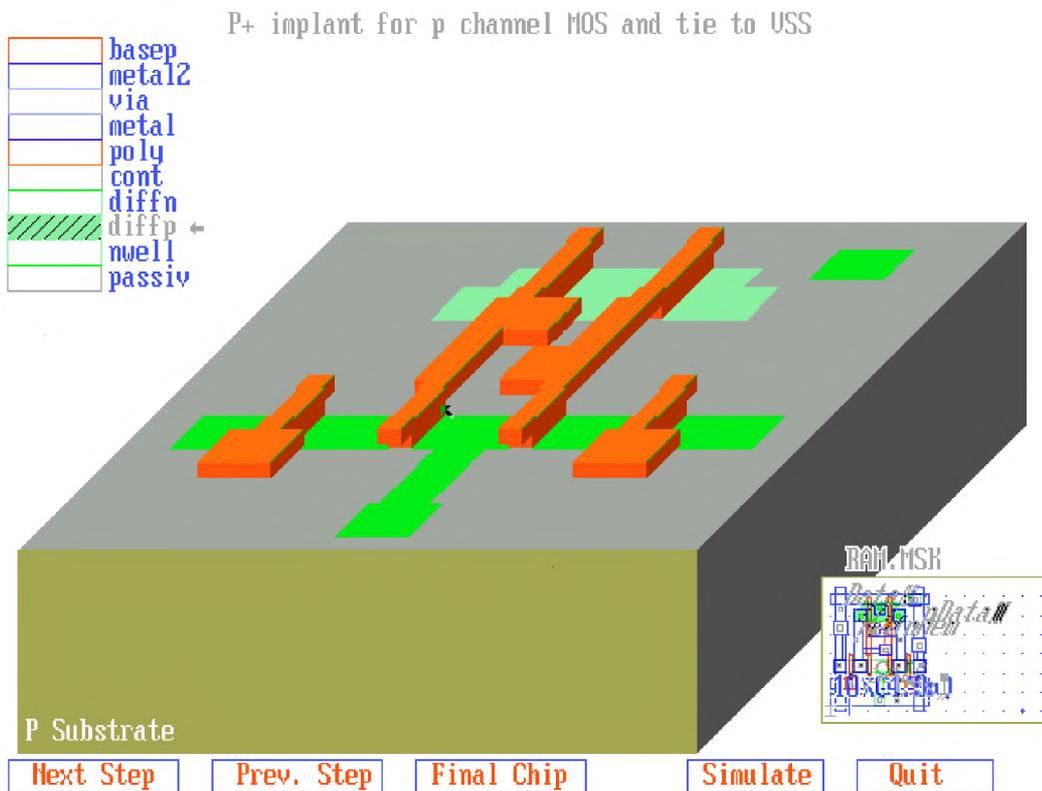


Рис.23. Трехмерное изображение статической ячейки ОЗУ (файл RAM.MSK)

## Входная контактная площадка

Ниже представлен пример контактной площадки вход/выход (файл PADIN.MSK). Используется структура 100x100 мкм metal/via/metal2 в качестве контактной площадки для материала проводника из золота, служащего для соединений между ИС и корпусом.

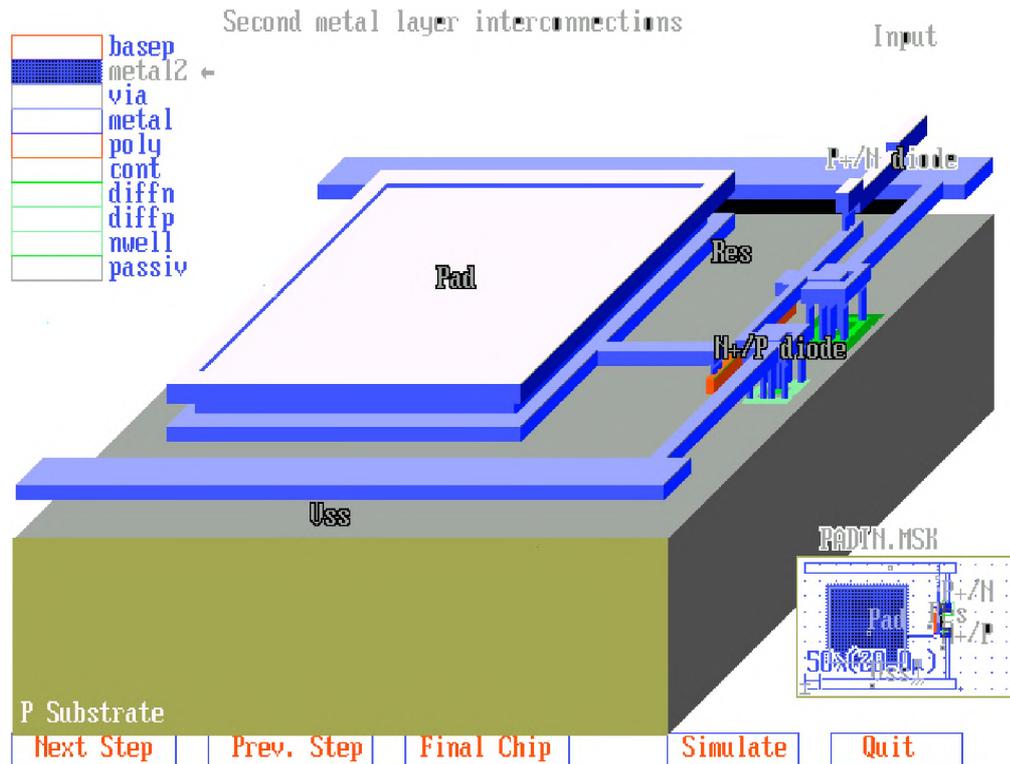


Рис.24. Входная контактная площадка в трехмерном виде (файл PADIN.MSK)

## Выход из программы 3D

Нажмите **Quit** в меню для выхода в DOS.

Топологии активных элементов ИС имеющихся в программе могут быть представлены в трехмерном виде с использованием файлов с расширением .MSK. В следующем разделе описывается редактор топологии MSK. После завершения создания топологии она может быть выведена в трехмерном виде с помощью программы 3D.EXE.

### 3. Проектирование CMOS (КМОП) инвертора (программа MSK)

Для изучения и проектирования элементов ячейки CMOS (КМОП) используется программа MSK.

Для запуска модуля MSK следует использовать программу MSK.EXE.

На рис. 25 показано окно редактора MSK. Это окно включает четыре главных окна: основное меню, окно отображения топологии, меню в виде иконок и палитру слоев.

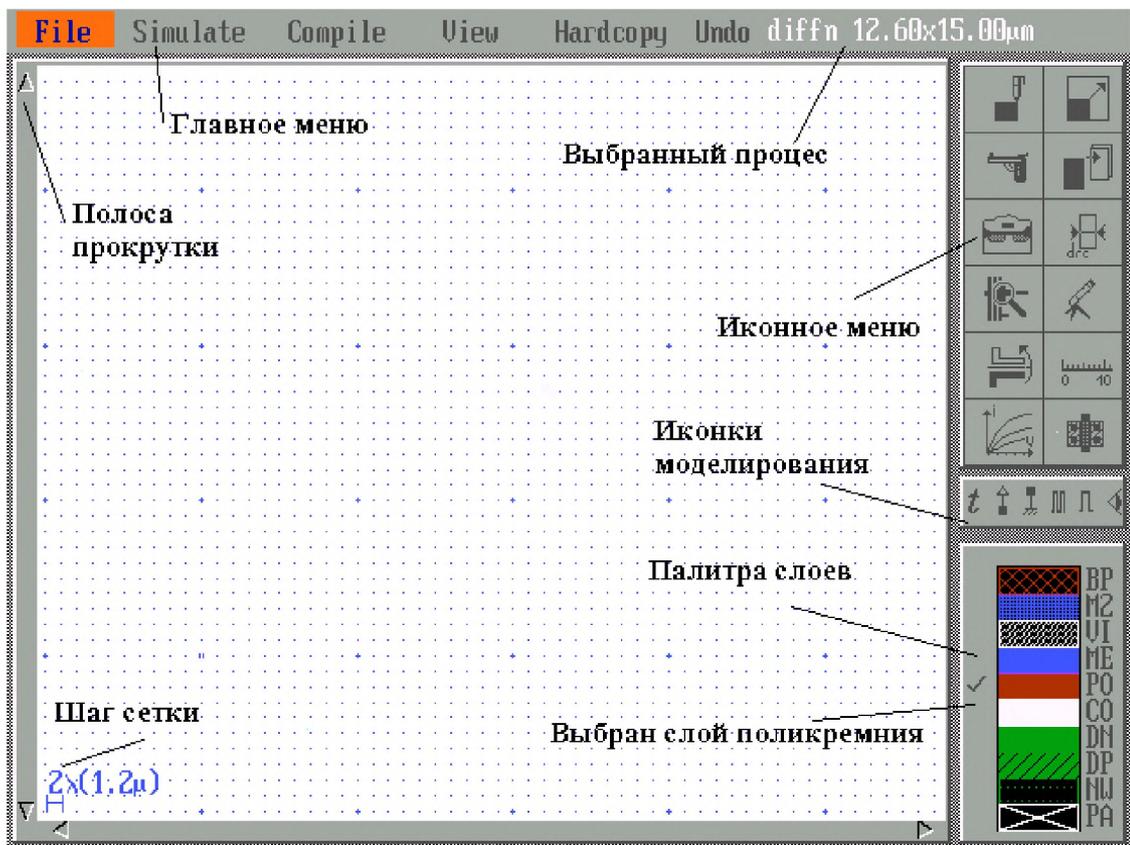


Рис.25. Вид окна модуля MSK

Окно топологии имеет сетку, которая соответствует текущему масштабу рисования (масштаб задается целочисленными значениями  $\lambda$ ). В нижеследующей таблице приведены значения  $\lambda$  в микронах для различных технологий. По умолчанию в программе MICRO используется ES2 1.2 мкм технология.

**. Значения  $\lambda$  и размер затвора для различных технологий**

Имя файла	Технология	Размер $\lambda$	Минимальный размер ячейки
ES212.RUL	ES2 1.2мкм CMOS	0.6мкм	1.2мкм
ES210.RUL	ES2 1.0мкм CMOS	0.5мкм	1.0мкм
ES208.RUL	ES2 0.8мкм CMOS	0.4мкм	0.8мкм
AMS12.RUL	AMS 1.2 мкм BiCMOS	0.6мкм	1.2мкм
JESSI05.RUL	JESSI CMOS 0.5мкм	0.3мкм	0.6мкм
AFFO12.RUL	ABB HAFFO low power 1.2V 2мкм CMOS	0.6мкм	1.2мкм

**CMOS (КМОП) инвертор**

КМОП инвертор содержит два транзистора – n-канальный и p-канальный. Обозначения, связанные с данным прибором, приведены ниже.

Для создания инвертора затворы и выходы обоих транзисторов соединяются, как показано на рис. 26.

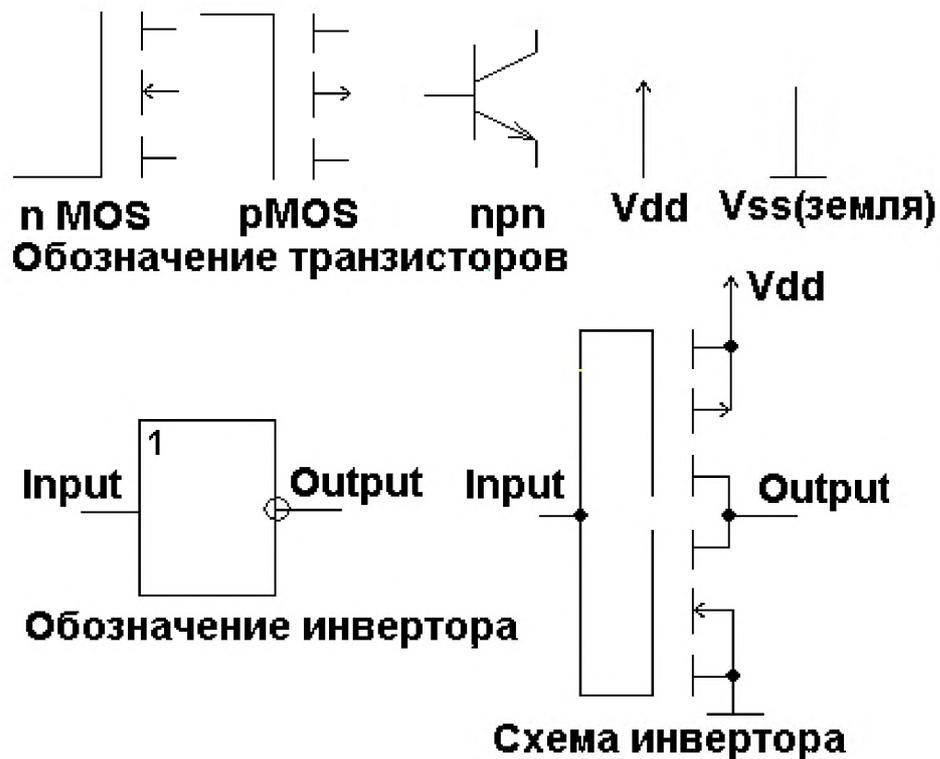
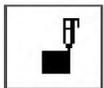


Рис.26. Схема КМОП инвертора, состоящего из одного nМОП (сверху) и одного рМОП (снизу) транзисторов

## Ручное проектирование



По умолчанию начальной иконкой является иконка рисования, показанная выше. Она позволяет рисовать прямоугольные области. Окно дисплея вначале пусто. Птичкой обозначен текущий слой в палитре. Сначала выбирается слой **PO** (поликремний). Два первых шага проектирования показаны на рис.27. Стандартным образом создается прямоугольная область поликремния. Ширина прямоугольника должна быть не меньше  $2\lambda$ .

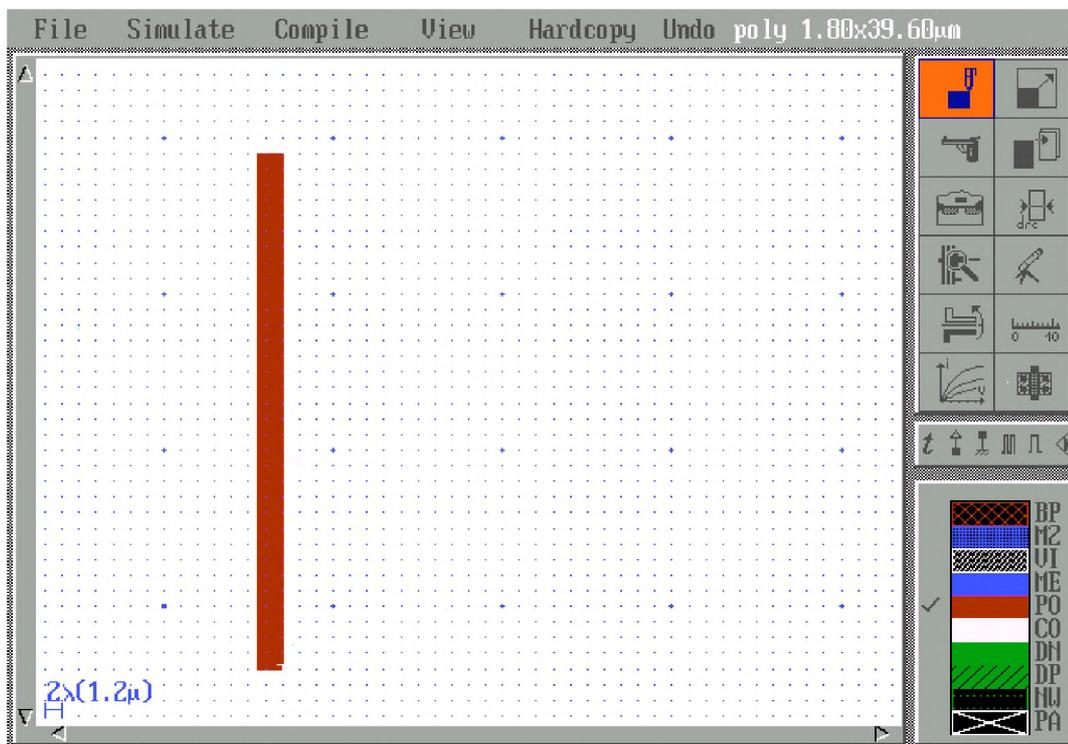


Рис.27. Создание изображения области поликремния

Далее нарисуйте еще два прямоугольника, как показано на рис. 28.

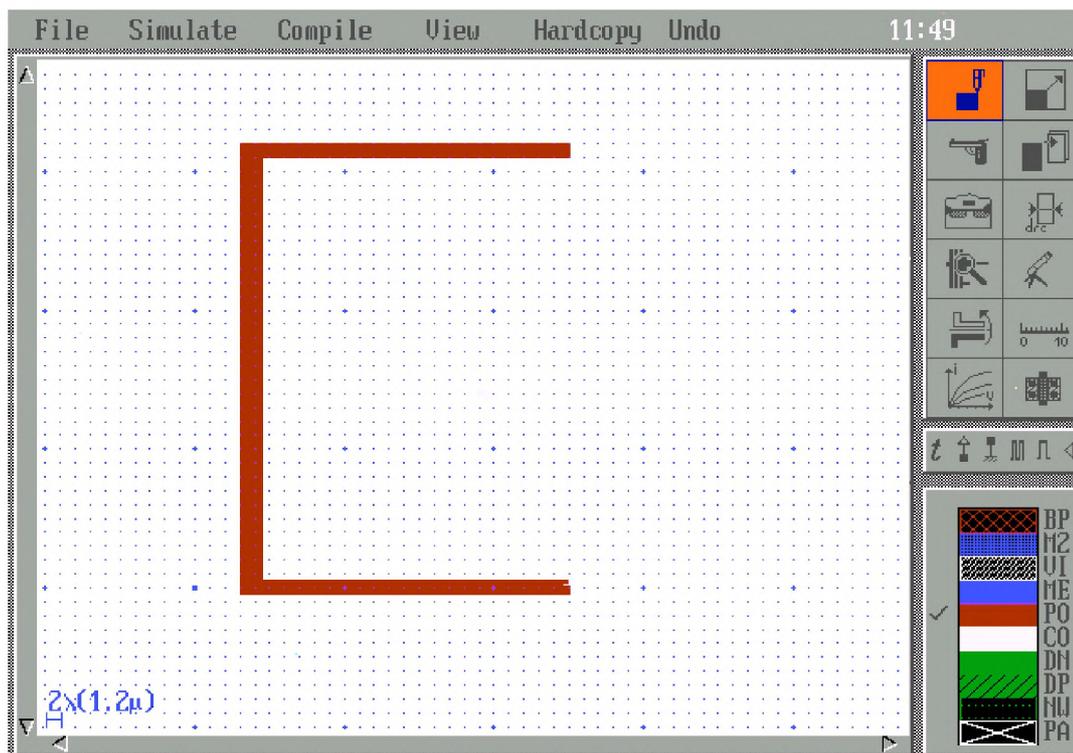


Рис.28. Создание трех областей поликремния

Измените текущий слой на  $n^+$ - диффузионный слой (**DN** в палитре, зеленого цвета). Нарисуйте прямоугольник, отображающий диффузионную  $n$ -область, как показано на рис. 29. Пересечение диффузионного и поликремниевых слоев создают канал  $n$ -МОП прибора.

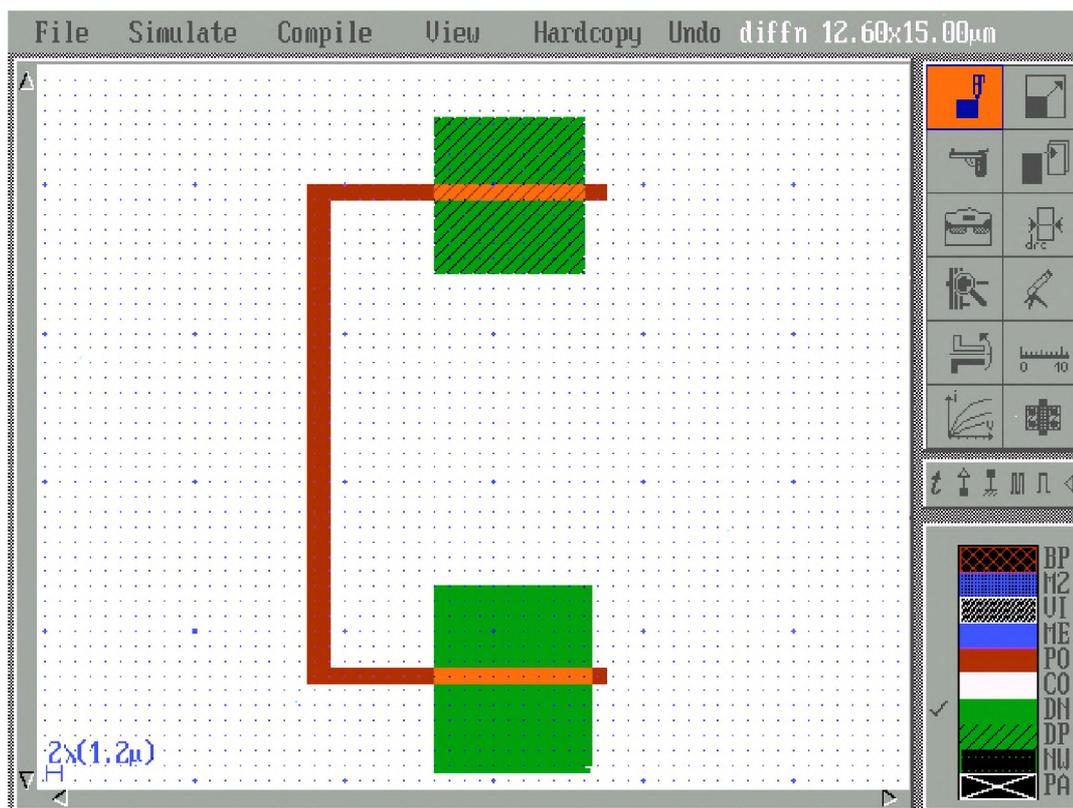


Рис. 29. Создание  $n$ -канального и  $p$ -канального приборов

Измените текущий слой на диффузионный  $p^+$ - слой (**DP** в палитре). Нарисуйте диффузионную  $p$ -область поверх рисунка, как показано на рис. 29. Пересечение диффузионного  $p^+$ - слоя и поликремния создают канал в  $p$ МОП приборе.

Измените текущий слой на  $n$ -карман (**NW** в палитре). Нарисуйте карман, перекрывающий  $p^+$ - диффузионную область, как показано на рис.30.

## Моделирование технологии



Нажмите на эту иконку для осуществления моделирования технологического процесса. Сечение задается путем нажатия кнопки мыши в первой точке и отпущения ее во второй точке. На примере, показанном ниже (рис. 31), появляется три узла в сечении n-канального МОП прибора: затвор (красный), левый диффузионный слой, называемый истоком, и правый диффузионный слой - стоком.

Физические свойства истока и стока совершенно одинаковы.

Теоретически исток есть источник носителей заряда в канале. В случае nМОП прибора носителями заряда в канале являются электроны. Следовательно, исток представляет собой диффузионную область с самым низким напряжением. На рис. 31 приведено также сечение pМОП прибора. Показана также диффузионная область n-кармана и P<sup>+</sup>- диффузионные области, нарисованные внутри n-кармана с поликремниевым затвором сверху (красного цвета).

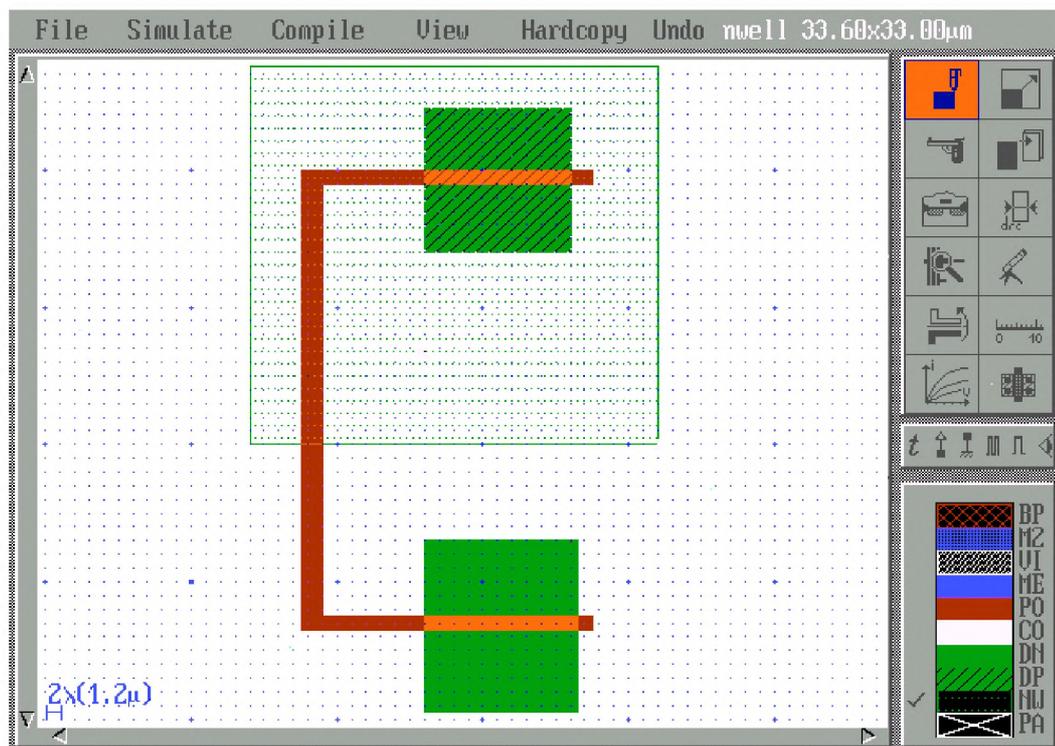


Рис.30. Создание кармана для p-канальных приборов

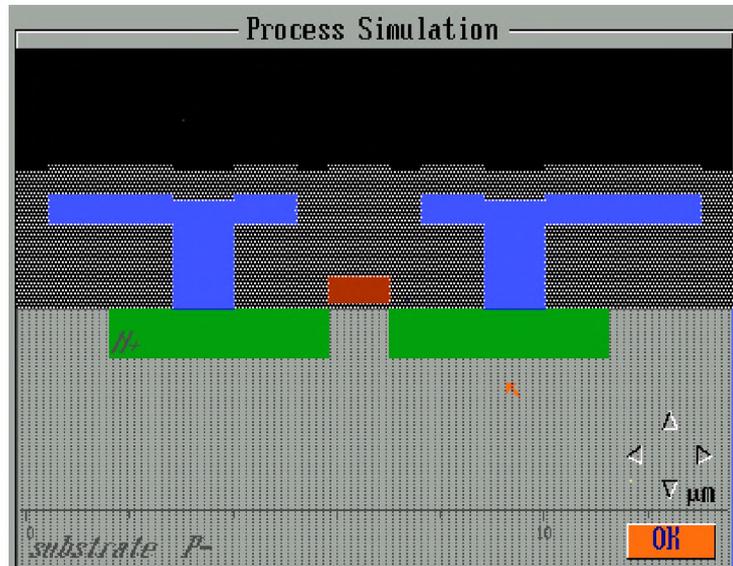


Рис.31. Сечение n-МОП и p-МОП приборов

### ВАХи МОП приборов



Нажмите на показанную выше иконку. Появится экран, приведенный на рис. 32. На нем представлены результаты моделирования (ВАХ характеристики) nМОП прибора.

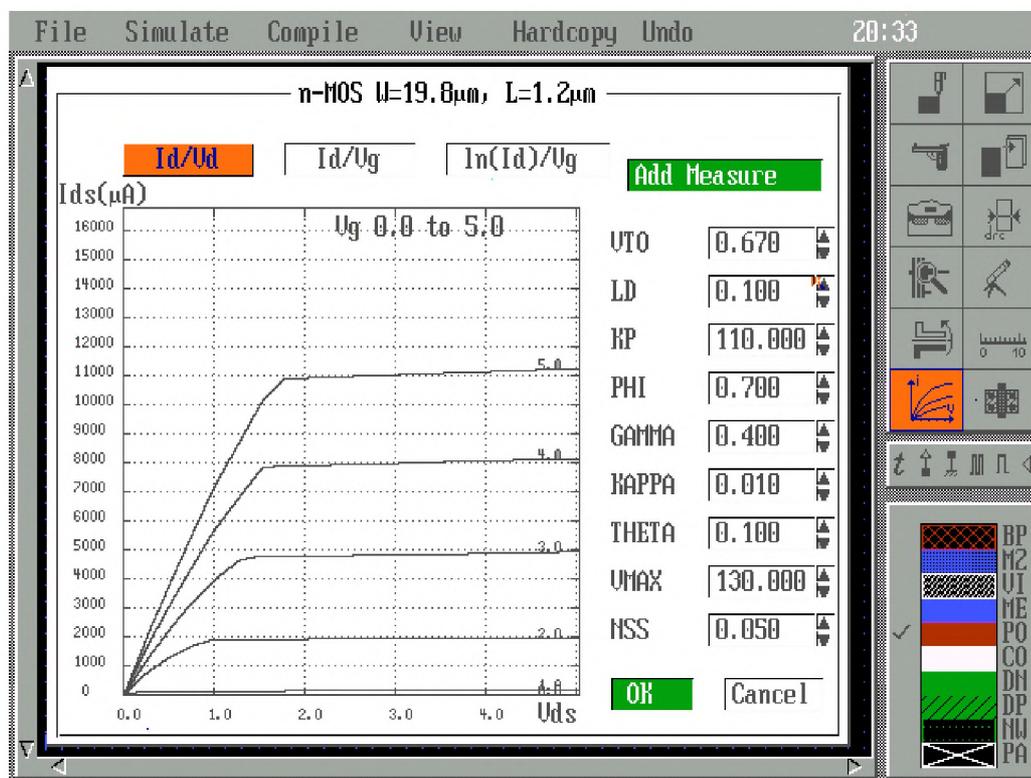


Рис. 32. ВАХи nМОП прибора

Размер МОП транзистора (ширина и длина канала, расположенного на пересечении поликремниевого затвора и диффузионной области) в значительной степени влияет на величину тока. Для ситуации, изображенной на рис. 32, ширина канала МОП прибора равна  $2\lambda$  (1.2 мкм для технологии ES2 1.2 мкм), а длина равна  $14\lambda$  (8.4 мкм). Нажмите **ОК**, чтобы вернуться в редактор.

Параметры МОП транзистора соответствуют программе SPICE (level 3). VTO – пороговое напряжение, LD – модуляция длины канала, KP – величина, равная  $U_0/TOX$  (подвижность электронов/толщина окисла), а другие параметры – эмпирические, полученные посредством подгонки вольт-амперных характеристик к результатам измерений.



## Контакты и металлические межсоединения

Диффузионные области должны быть соединены посредством металлического слоя. Металлический слой изолирован от диффузионной области толстым слоем  $\text{SiO}_2$ . Контактный слой используется для создания окон в окисле, чтобы соединить металлическую и диффузионную области. Контактную область можно нарисовать вручную. Обычный размер контакта –  $2 \times 2 \lambda$ . Библиотека ячеек содержит контакты диффузионный слой – металл, созданные согласно правилам проектирования. Нажмите иконку, показанную выше, для обращения к библиотеке (рис. 33).

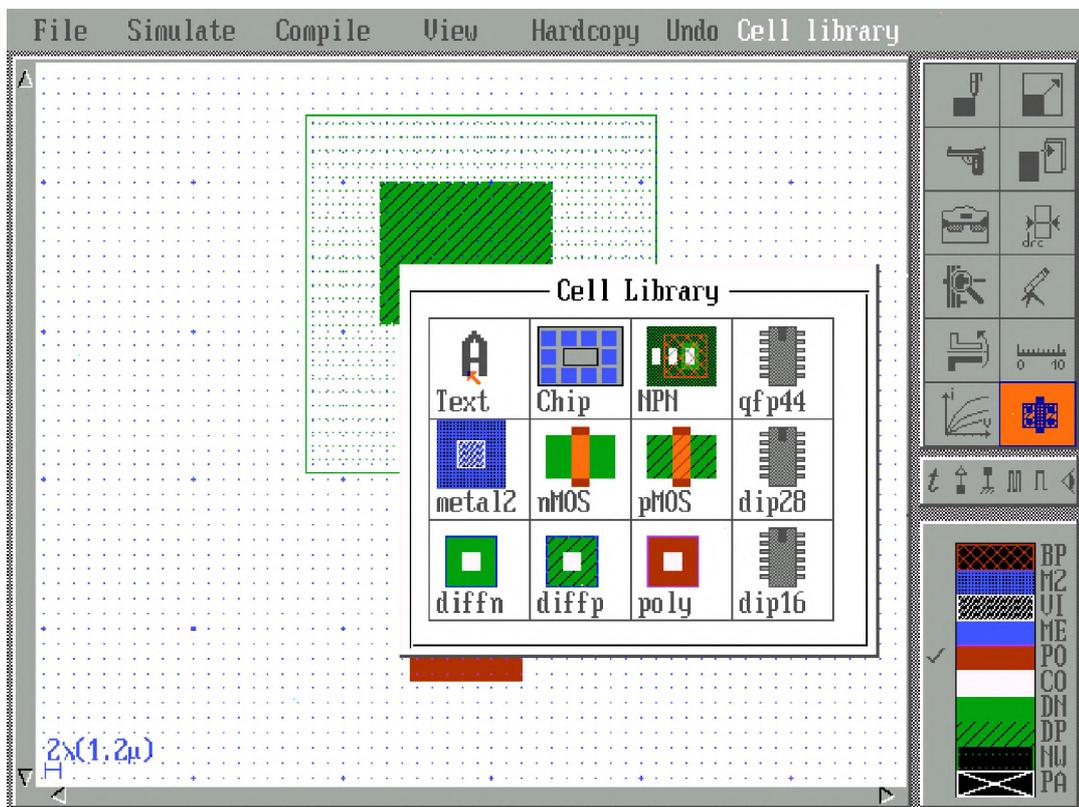


Рис. 33. Библиотека ячеек (The cell library)

Выберите контакт **diffn/metal** (диффузионный n-слой – металл), показанный в левом нижнем углу окна библиотеки. Зафиксируйте контакт внутри диффузионной n- области. Опять нажмите на иконку библиотеки ячеек. Выберите иконку **diffp/metal** (диффузионный p-слой – металл) и зафиксируйте контакт внутри диффузионной p- области.

Выберите слой металла в палитре (**ME**). Нарисуйте металлический мостик между n и p контактами. Теперь проектирование КМОП инвертора завершено (рис. 34).

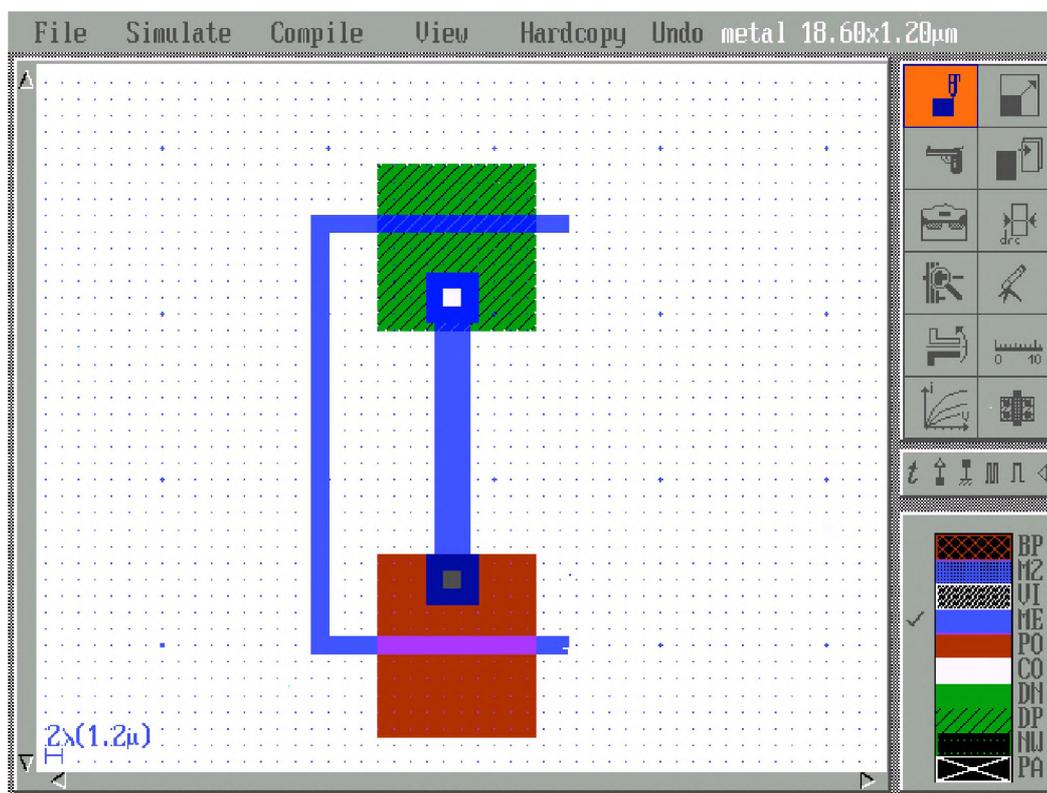


Рис. 34. Металлический мостик и инвертор спроектированы

### Добавление текста

Текст можно добавить на любом этапе проектирования. Текстовые надписи используются для присвоения имен входам, выходам или источникам управляющих сигналов. Имена узлов также поясняют электрическую схему и аналоговое моделирование. В случае инвертора можно объявить два

присваивания: In (Input) для поликремниевой области и Out (Output) для области металла. Чтобы добавить текст в нужном месте, необходимо произвести следующие действия:

1. Выберите иконку текста в иконном меню моделирования.



2. Отметьте путем нажатия кнопки мыши в окне экрана то место, где необходимо вставить текст. Например, на вертикальной поликремниевой области.
3. В текстовом окне наберите буквенную строку, например, In.
4. Нажмите **ENTER**. Текст In появится на рисунке топологии. Введите таким же образом текст Out в область металла (рис. 35).

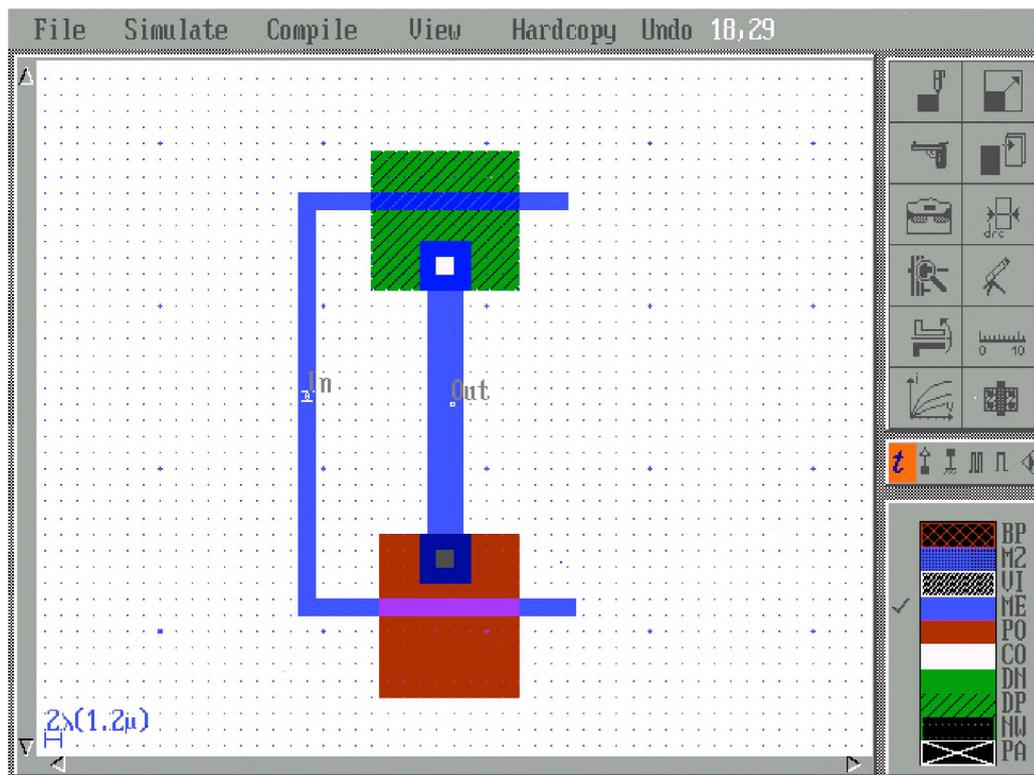
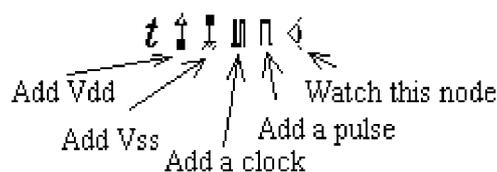


Рис. 35. Добавление текста In и Out к топологии

## Характеристики моделирования

Перед запуском аналогового моделирования следует задать напряжение, приложенное к соответствующему узлу. Например, следует назначить верхней р-диффузионной области напряжение питания VDD, а нижней п-диффузионной области - напряжение земли VSS. Следует также подать импульс на вход для узла In и проконтролировать импульс на выходе.



1. Нажмите на иконку **VDD**. Нажмите на верхнюю р-диффузионную область.  
Будет задана VDD- характеристика для этого узла.
2. Нажмите на иконку **VSS**. Нажмите на нижнюю п-диффузионную область.  
Будет задана VSS характеристика для этого узла.
3. Нажмите на иконку **Clock**. Нажмите на область поликремниевого затвора.  
Появится меню **Clock** (см. ниже). Нажмите **ОК**. По умолчанию будет генерироваться сигнал с периодом 4 нс. Эти свойства сигнала будут присвоены нашему узлу и появятся в правой части узла In.
4. Моделирование сигнала на выходе: нажмите на иконку **Visible**. Нажмите на область металлического мостика. Свойство **Visible** будет присвоено данному узлу. Текст Out станет курсивным. Временные диаграммы этого узла появятся при следующем моделировании.

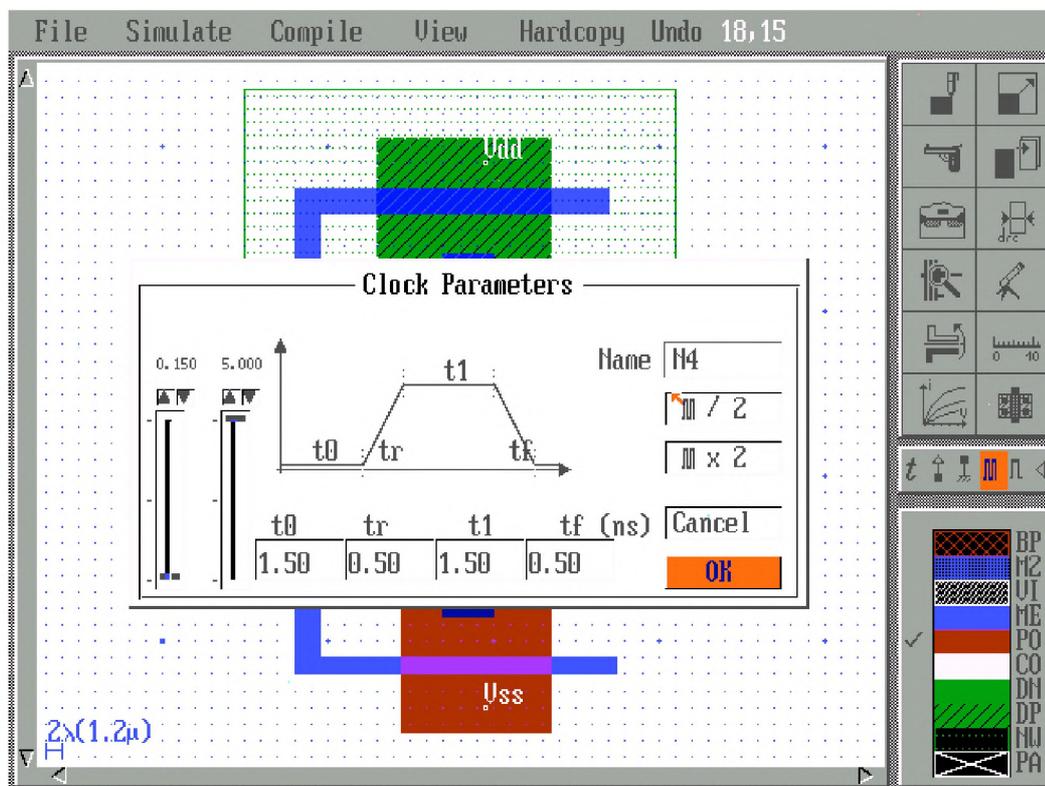


Рис. 36. Меню сигналов

Для удаления задания на моделирование для данного узла нажмите на иконку Visible, и иконка исчезнет.

### Аналоговое моделирование

Нажмите **Simulate** (моделирование) в главном меню. Появится временная диаграмма инвертора (рис. 37). Нажмите **Continue** (продолжение) для продолжения моделирования. Рассчитается задержка затвора при  $V_{DD}/2$ , т.е. при 2.5 V, между сигналом в состоянии **Start** и сигналом в состоянии **Stop**. При использовании технологии ES2 1.2 мкм задержка при  $V_{DD}/2$  составляет 96 пс (время спада) и 208 пс (время нарастания).

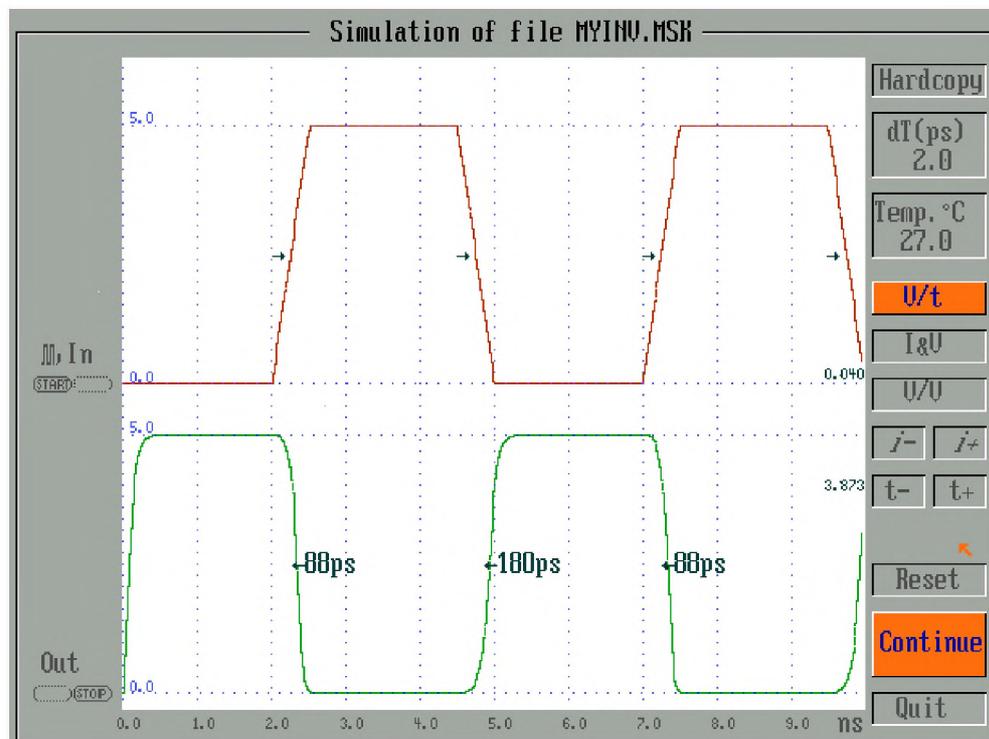


Рис. 37. Результат аналогового моделирования КМОП инвертора.

Временная диаграмма на выходе противоположна временной диаграмме на входе. Отметим задержку между подъемом напряжением выше 2.5 V на входе и соответственно спадом напряжения на выходе ниже 2.5 V

- ◆ Нажмите **I&V**, чтобы промоделировать как токи, так и напряжения (рис. 38). Пиковое значение тока можно просмотреть в верхнем окне. Все напряжения приведены в нижнем окне. Масштаб по току можно изменить использованием кнопки “i+”, “i-”.
- ◆ Нажмите **V&V**, чтобы просмотреть DC передаточные характеристики инвертора (рис. 39). Коммутационная точка инвертора  $V_C$  является входным напряжением, при котором вход закрыт от  $V_{DD}/2$ . В случае, изображенном на рис. 39,  $V_C$  примерно равно 2.0 V. Нажмите **OK**, чтобы вернуться в редактор.

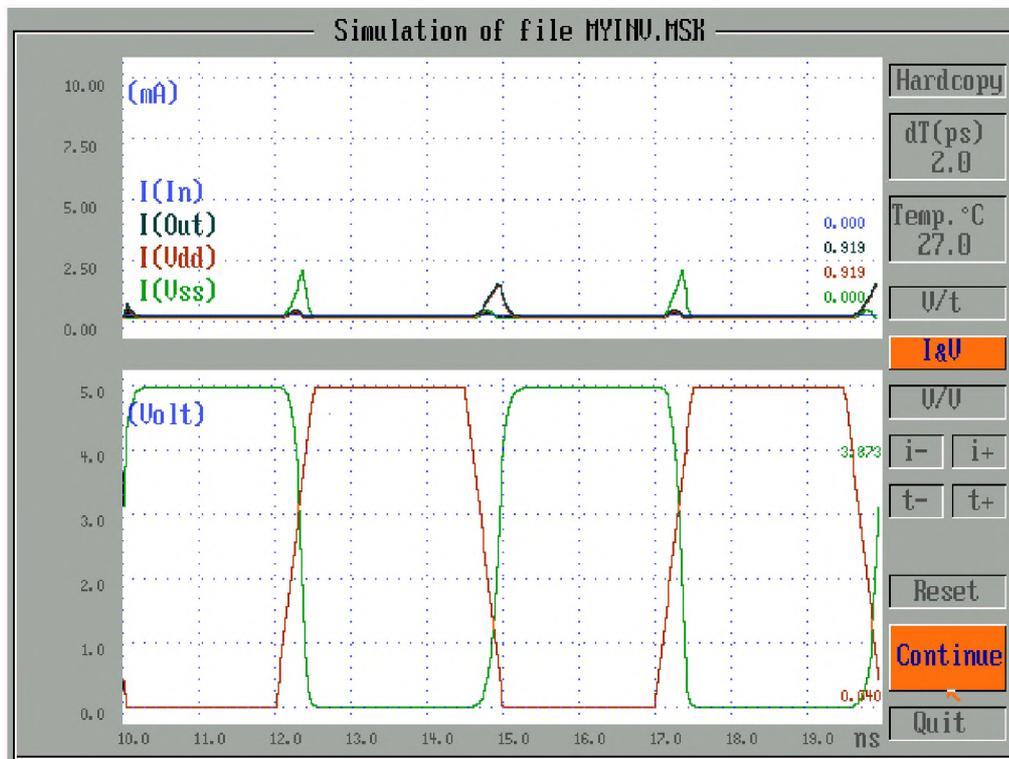


Рис. 38. Характеристики тока КМОП инвертора. Ток потребляется при приложенном напряжении VDD, когда напряжение на выходе инвертора возрастает до Vdd. Ток, потребляемый при напряжении земли Vss, когда напряжение на выходе падает до 0 V

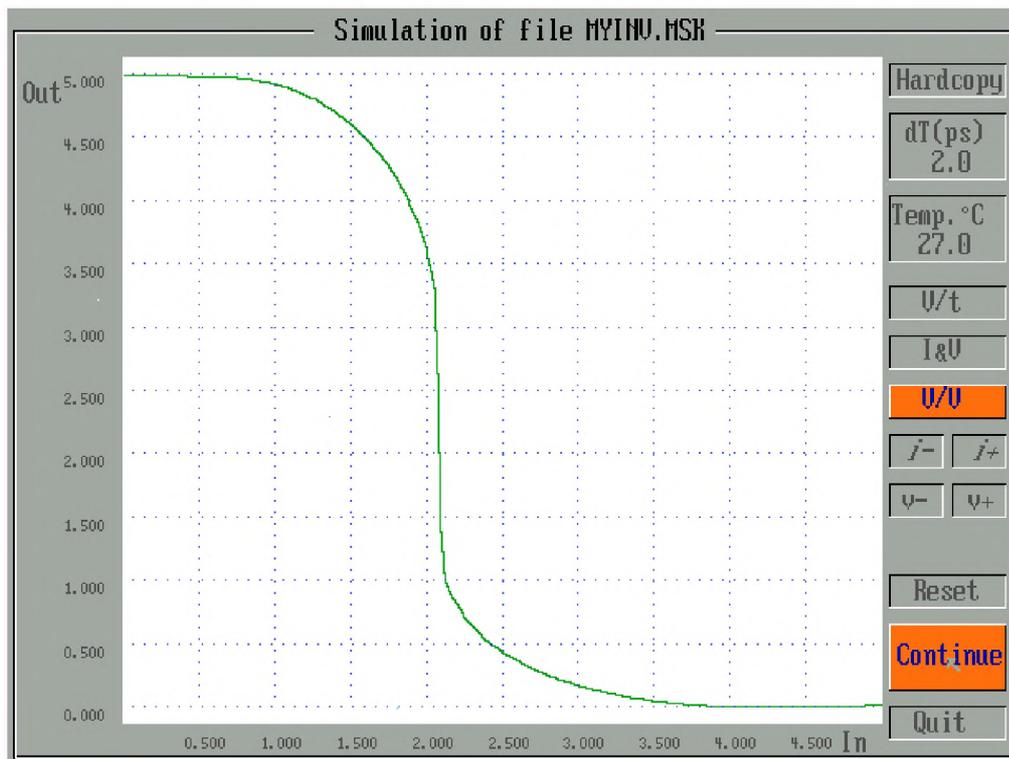


Рис. 39. DC характеристики КМОП инвертора. Коммутационная точка инвертора примерно равна 2 V

## Сохранение и выход

Нажмите **File** (Файл) главного меню. Переместите курсор на **Write to** (Сохранить как) и нажмите на него. Появляется окно, в которое можно внести имя проекта, после чего нажмите **Enter**. Затем нажмите **OK** (рис. 40). После подтверждения вопроса проект будет записан под этим именем.

В правом верхнем углу окна экрана представлено соответствующее число областей.

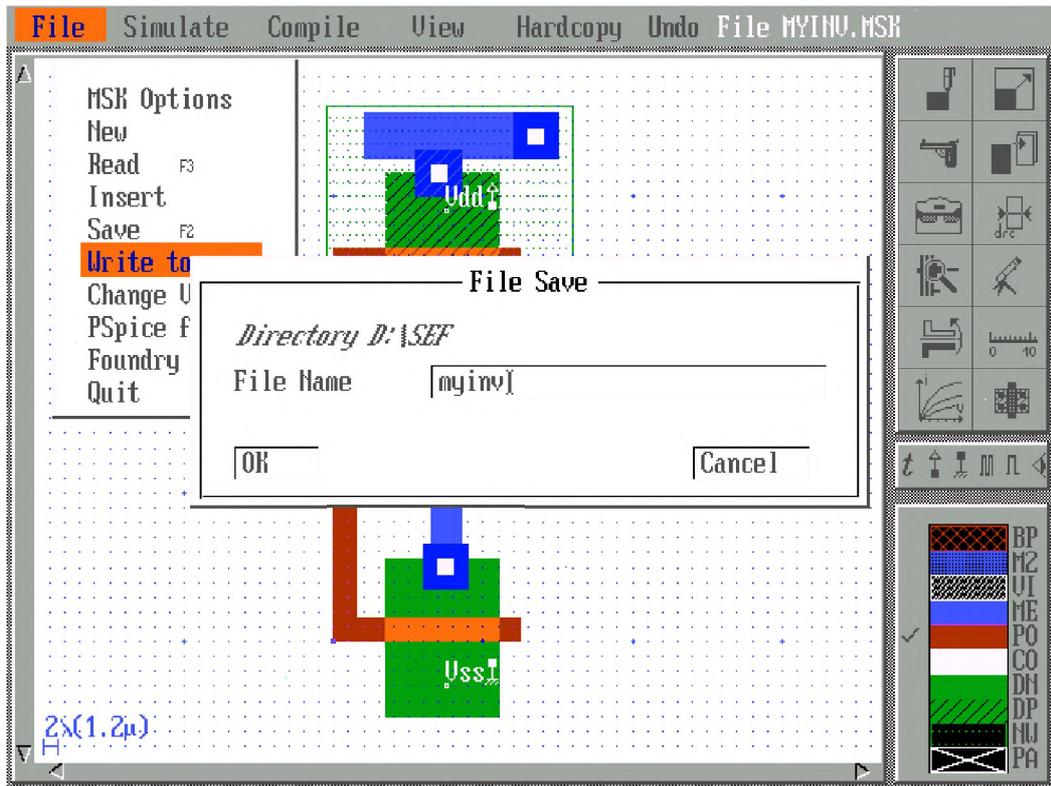


Рис. 40. Сохранение проекта под именем “MYINV”

Проект сохраняется под именем с расширением “MYINV.MSK”.

Чтобы выйти из программы MSK, нажмите **File** в главном меню, а затем **Quit**, чтобы вернуться в DOS.

## 4. Базовые логические элементы

### Элемент NAND (И-НЕ)

Таблица истинности и временная диаграмма КМОП элемента И-НЕ с двумя входами показана на рис.41. Элемент И-НЕ состоит из двух последовательно соединенных nМОП транзисторов и из двух параллельно соединенных pМОП транзисторов.

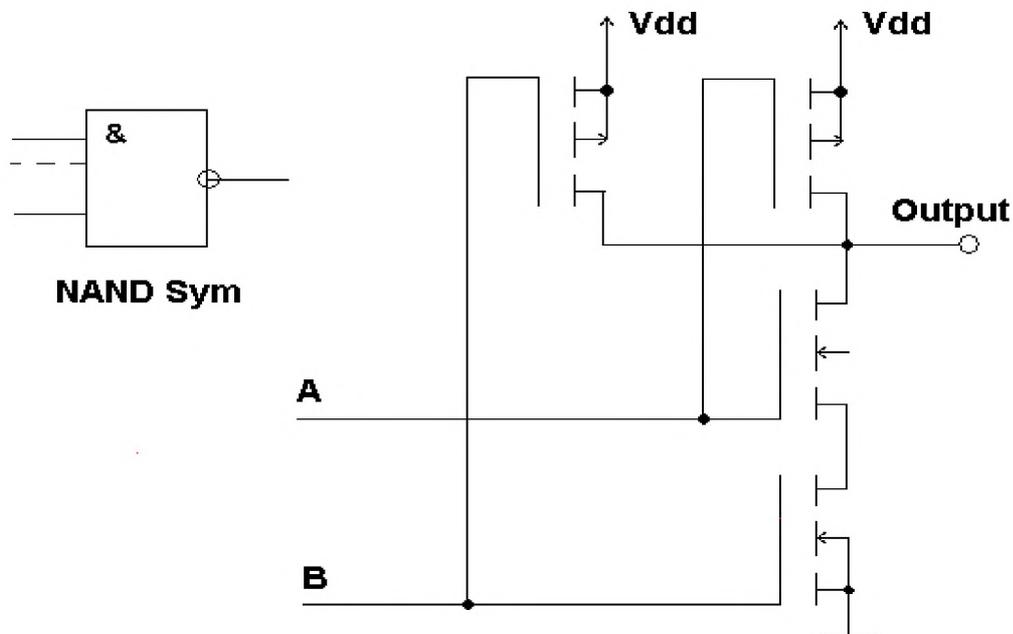
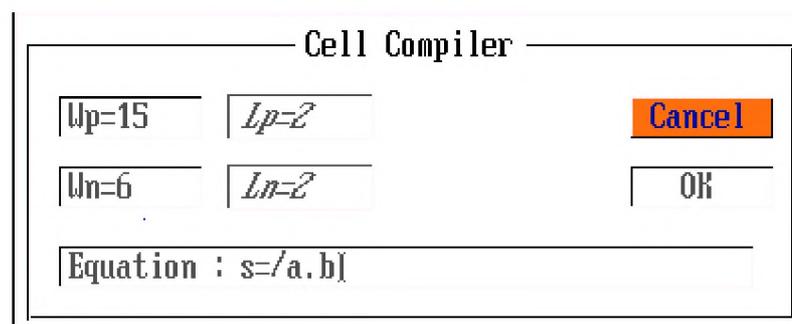


Рис. 41. Таблица истинности и структура КМОП элемента И-НЕ

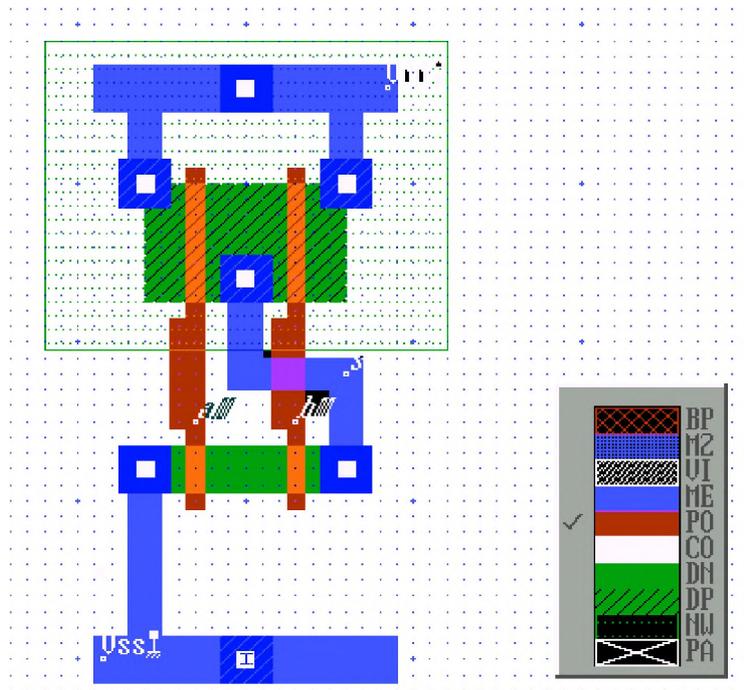
### Проектирование элемента И-НЕ

Проект элемента И-НЕ можно загрузить посредством использования команды **File** → **Read** → **NAND.MSK**. Можно также вручную нарисовать элемент И-НЕ, как и в случае инвертора. Можно использовать и библиотеку элемента, чтобы автоматически получить проект элемента И-НЕ. В этом случае следует выполнить следующую процедуру:

1. Нажмите **Compile** в главном меню. Появится новое окно.
2. Используя клавиатуру, введите следующее уравнение:  $s = \overline{(a.b)}$
3. Нажмите **OK**. Результат показан на рис. 42.



Компилятор может сгенерировать КМОП топологию, соответствующую любой топологии, основанной на операторах И и ИЛИ. В этом уравнении первый параметр является именем выхода. В данном случае - это имя *s*. Знак “=” обязателен. Знак “/” соответствует операции NOT. Он может быть использован только после знака “=”. Скобки “( ‘)” используются для построения функции, где “.”- оператор И, а “+”- оператор ИЛИ.



**Рис. 42. Элемент И-НЕ, созданный КМОП компилятором**

### Моделирование элемента И-НЕ

Компилятор зафиксировал положение источника питания **VDD** и земли **VSS**. Кроме того, подписи **A**, **B** и **S** также помечены в топологии.

1. Нажмите иконку **Clock** и отметьте внутреннюю поликремневую область затвора **A**. Появится окно сигналов.
2. Нажмите **OK**, чтобы назначить по умолчанию параметры сигнала **A**.
3. Далее нажмите внутри поликремневой области затвора **B**. Появится новое окно сигналов.
4. Нажмите **OK**, чтобы назначить новые параметры сигналов для **B**. Отметим, что период сигнала автоматически удваивается, чтобы осуществлять все логические комбинации на входе.
5. Нажмите иконку **Visible** и нажмите на выходной узел **S**.
6. Нажмите опцию **Simulate**. Появится временная диаграмма, показанная на рис. 43. Время спада сигнала равно 168 пс, а время нарастания - 88 пс. Время нарастания меньше, поскольку рМОП транзисторы соединены параллельно.

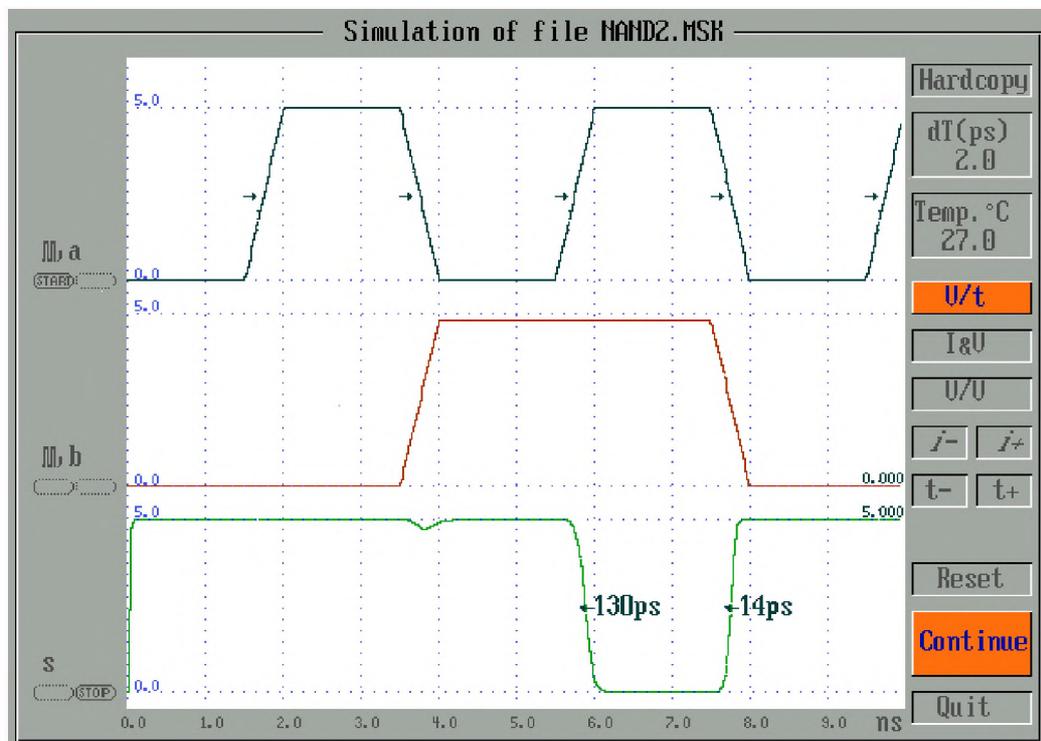


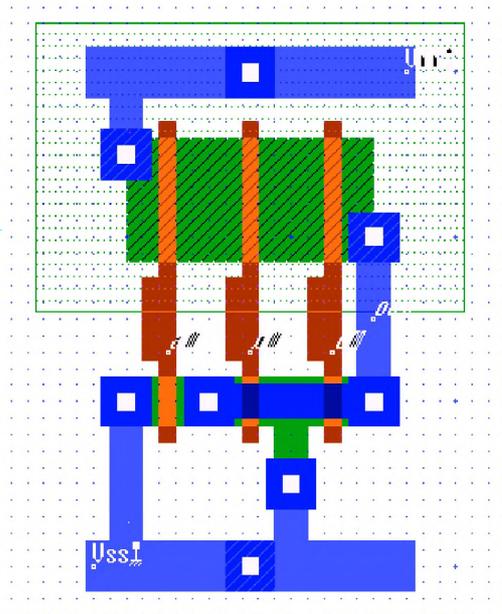
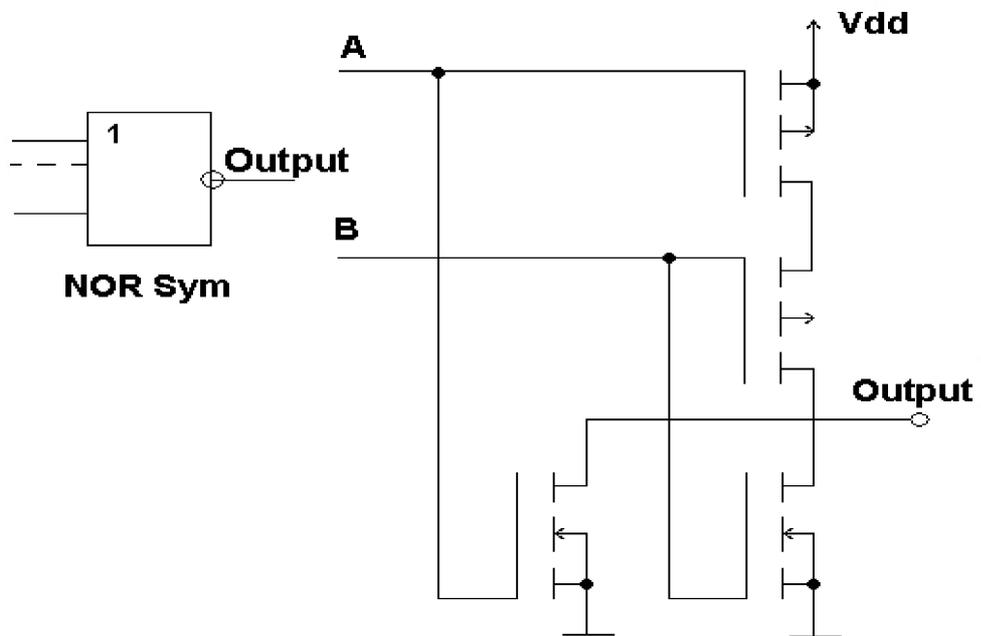
Рис. 43. Моделирование элемента И-НЕ

Элемент NOR (ИЛИ-НЕ) с тремя входами

Таблица истинности и временная диаграмма элемента ИЛИ-НЕ с тремя входами показана на рис. 44. Можно также использовать компилятор для создания элемента ИЛИ-НЕ с тремя входами. Новое уравнение:  $out = \overline{(A+B+C)}$ . Когда элемент будет скомпилирован, добавьте один сигнал на каждый из входов А, В и С. Добавьте свойство visible для входа OUT. Затем нажмите Simulate.

Можно также загрузить непосредственно файл NOR3.MSK, используя команду File → Read. Характеристики узлов загружаются вместе с информацией о топологии, так что эта схема готова для моделирования. Нажатие Simulate в главном меню. Появится временная диаграмма для элемента NOR3 (ИЛИ-НЕ3). Нажмите ОК, чтобы вернуться в редактор.

A	B	C	OUT
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0



**Рис. 44. Таблица истинности, топология и схема элемента NOR3 (ИЛИ-НЕ3) (файл NOR3.MSK)**

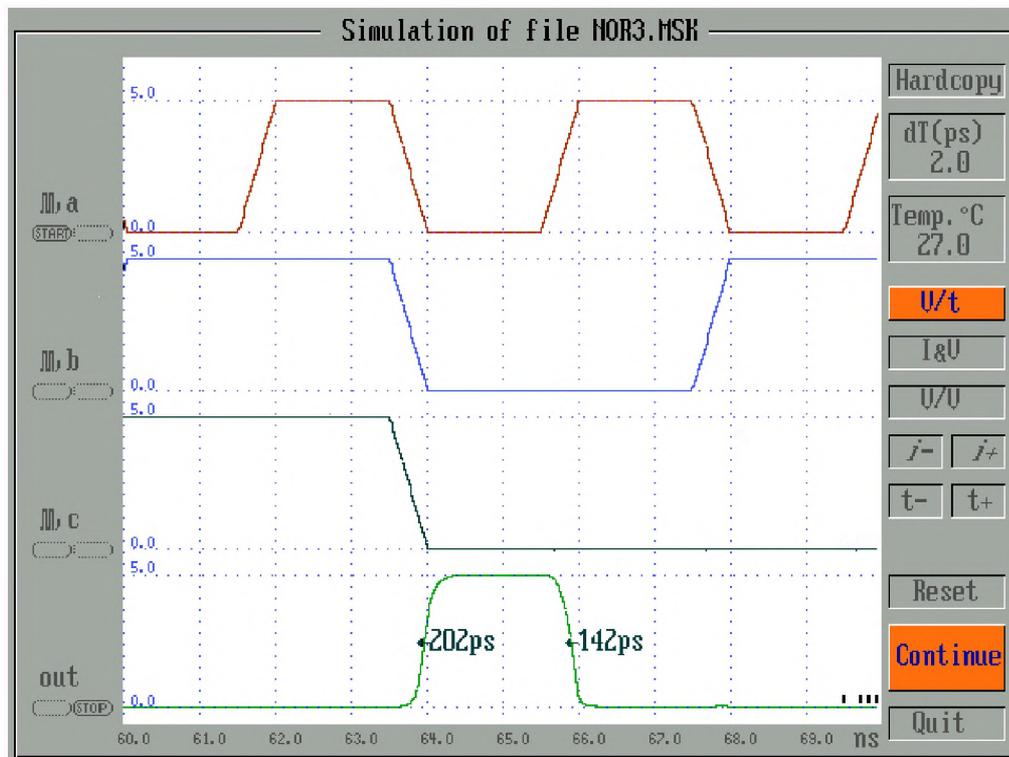


Рис. 45. Результаты моделирования элемента NOR3 (ИЛИ-НЕЗ)  
(файл NOR3.MSK)

### Элемент XOR (исключающее ИЛИ)

Таблица истинности и временная диаграмма КМОП элемента XOR показаны на рис. 46.

A	B	OUT
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

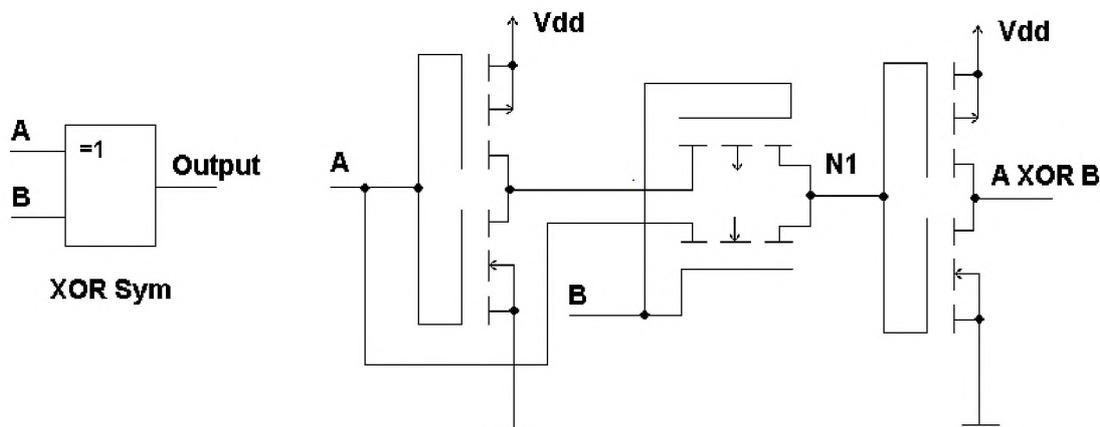


Рис. 46. Таблица истинности и схема элемента XOR (исключающее ИЛИ)

Таблица истинности элемента XOR (исключающее ИЛИ) можно записать в следующем виде: **IF B=0, OUT=A, IF B=1, OUT=Inv(A)**. Это означает, что сигнал **A** передается в узел **N1**, если **B=1**, а сигнал **Inv(A)** передается в узел **N1**, если **B=0**. Узел **OUT** инвертирует **N1**, т.е. выполняет функцию оператора XOR (исключающее ИЛИ).

Исходный файл имеет имя **XOR.MSK** и готов для моделирования. Нажмите **Simulate** главного меню. Выберите значения для временной диаграммы.

Можно также использовать компилятор для создания первых двух инверторов. Предложения для создания первого инвертора **na=/a**. Второй инвертор создается с помощью уравнения **out=/n1**.

Можно также добавить переходной вентиль и изменить его соединения. Предложение для создания переходного элемента: **n1<na**. Символ “=” заменяется на “<”, чтобы создать переходной элемент. Соедините все схему с помощью металлических соединений, как показано на рис. 47.

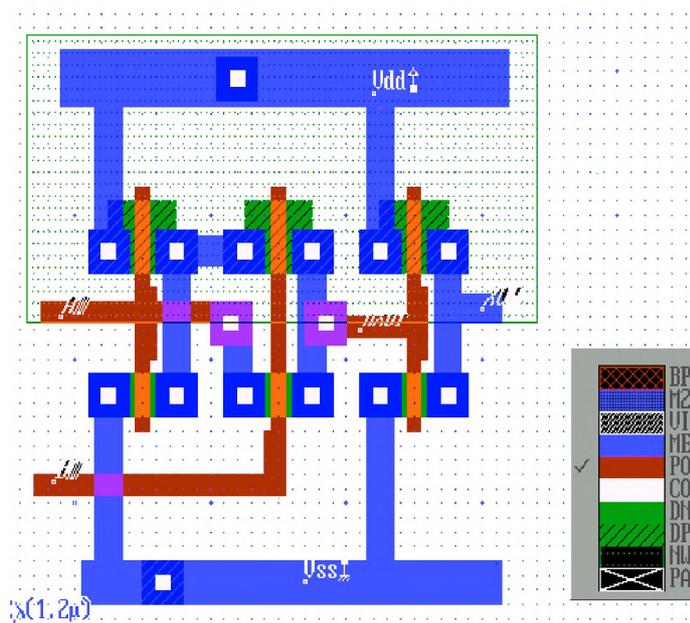


Рис. 47. Топология элемента XOR (исключающее ИЛИ) (файл XOR.MSK)



**Правила проектирования.** Нажмите иконку **Design Rule Checker**, чтобы получить топологию и проверить, что все минимальные правила проектирования выполнены. Ошибки представляются в окне дисплея с объяснением причин ошибок.

**Simulation (Моделирование).** Добавьте свойство сигналов на входы **A** и **B**, свойство **Visible** для выхода и проверьте таблицу истинности элемента XOR (рис. 48). Можно также добавить свойства **Visible** промежуточному узлу **N1**, который можно рассматривать в качестве входа второго инвертора. Просмотрите, как изменяется сигнал от **Vtn** (когда nМОП транзистор включен) и от **Vtp** (когда pМОП транзистор включен). Инвертор преобразует сигнал.

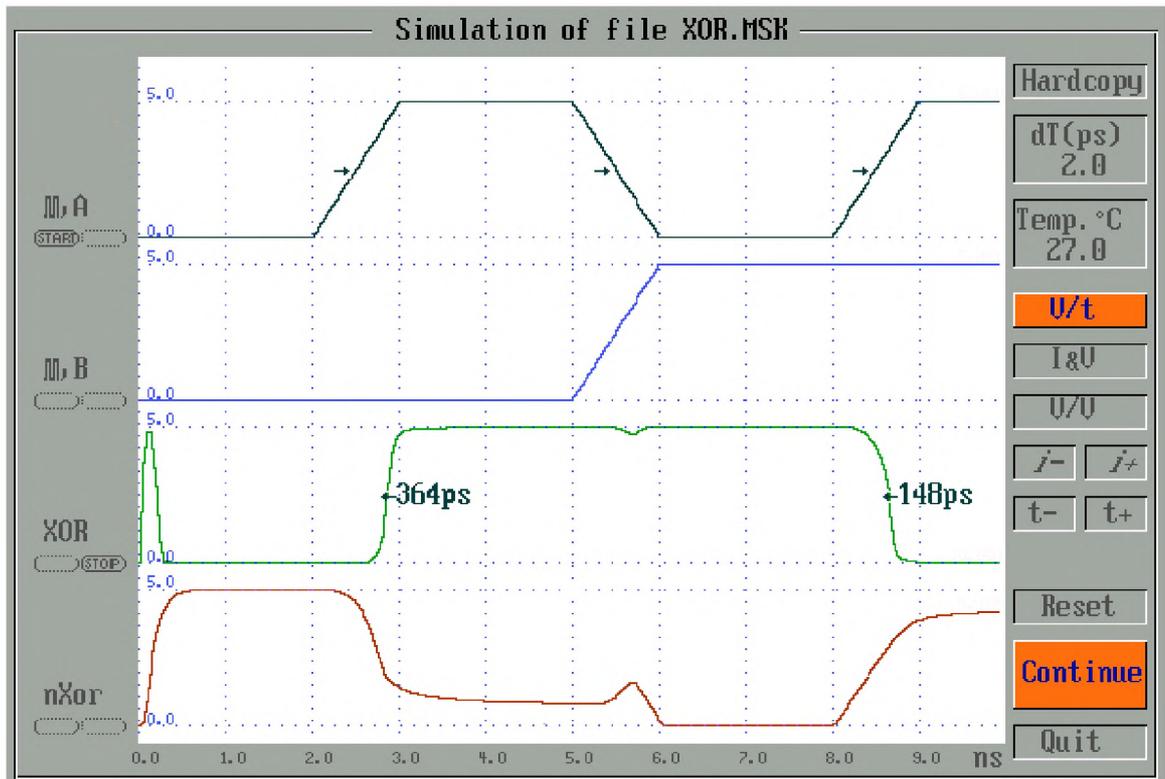


Рис. 48. Моделирование элемента XOR (файл XOR.MSK)

## 5. Арифметические ячейки

### Ячейка полусумматора (Half-adder Gate)

Таблица истинности и схема ячейки полусумматора показана на рис. 49. Функция **SUM** осуществляется с помощью элемента **XOR** (Исключающее ИЛИ), а переходная функция осуществляется с помощью элемента **И**. Загрузите структуру топологии полусумматора посредством нажатия клавиши **F2** (что эквивалентно **File → Read**) и загрузите файл **HADD.MSK**.

Можно создать топологию полусумматора, используя вначале топологию элемента **XOR**, введя топологию элемента **XOR** (команда **File → Insert**). Затем нарисуйте соединения между элементами. Используйте поликремний для коротких замыканий, поскольку этот материал имеет высокое сопротивление. Используйте металлические (Metal), поликремний/металлические (Poly/Metal) и диффузионно-металлические (Diff/Metal) контакты из библиотеки ячеек (нижняя правая иконка из меню иконок), чтобы соединить слои.

A	B	SUM	CARRY
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

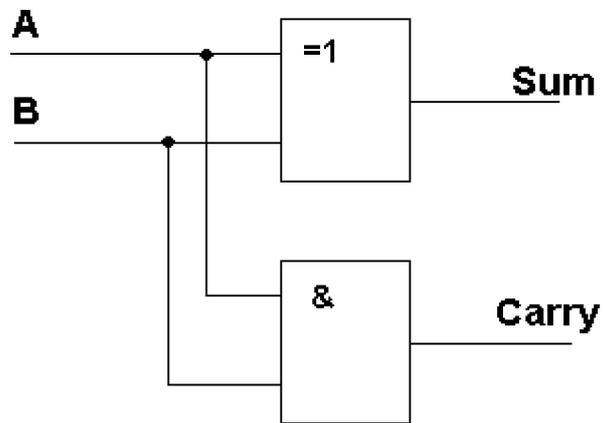


Рис. 49. Таблица истинности и схема ячейки полусумматора (файл HADD.MSK)

Нажмите **Simulate** в главном меню. Появятся временные диаграммы и таблицы истинности для полусумматора. Нажмите **OK**, чтобы вернуться в редактор.

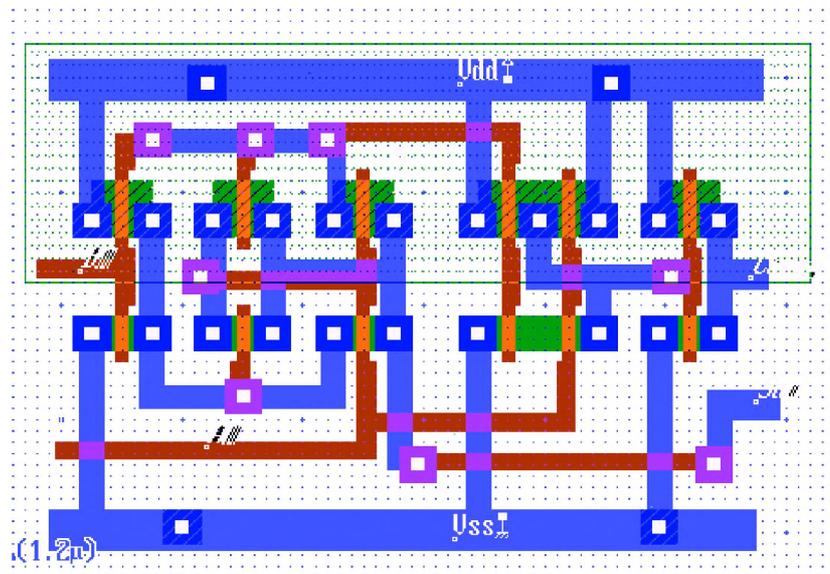


Рис. 50. Топология полусумматора (файл HADD.MSK)

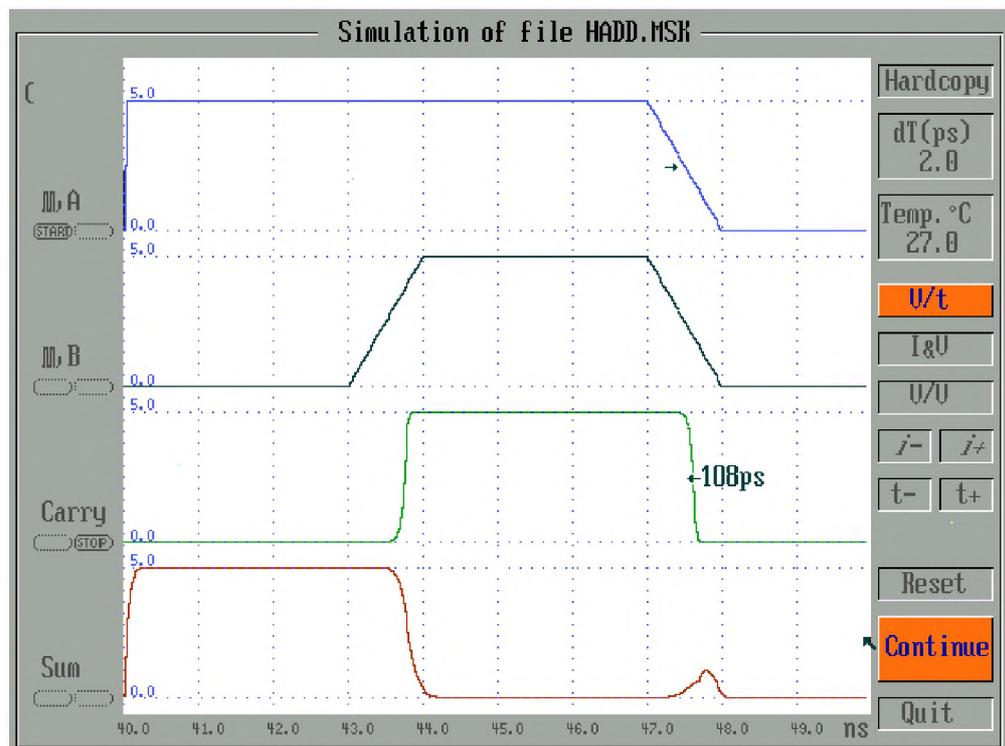


Рис. 51. Результат моделирования полусумматора (файл **HADD.MSK**)

### Ячейка полного сумматора (Full-Adder Gate)

Таблица истинности и схема сумматора показаны на рис. 52. Сумматор создается двумя ячейками **XOR**, а **CARRY (Перенос)** – сложная ячейка, как показано ниже.

A	B	C	SUM	CARRY
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

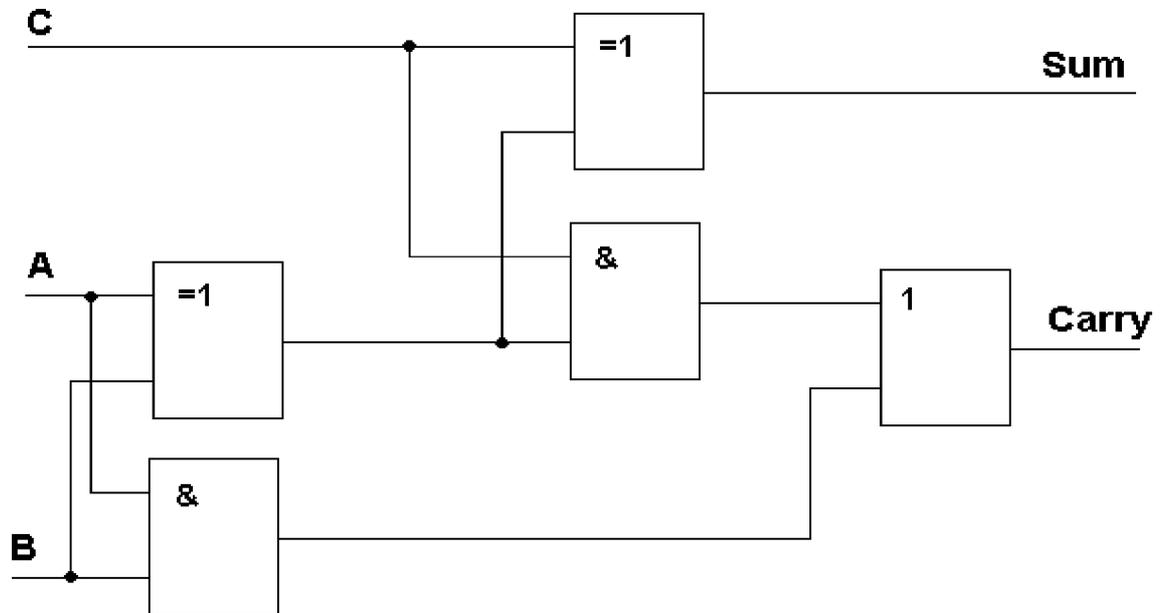


Рис. 52. Таблица истинности и схема полного сумматора (файл FADD.MSK)

Сложную ячейку CARRY (Перенос) можно скомпилировать следующим образом:

1. Нажмите **Compile**.
2. Введите уравнение  $cy=(a.b)+(c.(a+b))$ .
3. Нажмите **OK**.

На рис. 53 ячейки XOR расположены в левой части топологии, а сложная ячейка CARRY - в правой части. Результат моделирования полного сумматора представлен на рис. 54. Временные диаграммы воспроизводят типичную задержку в 2ns между входами и выходами для технологии 1.2 мкм КМОП.

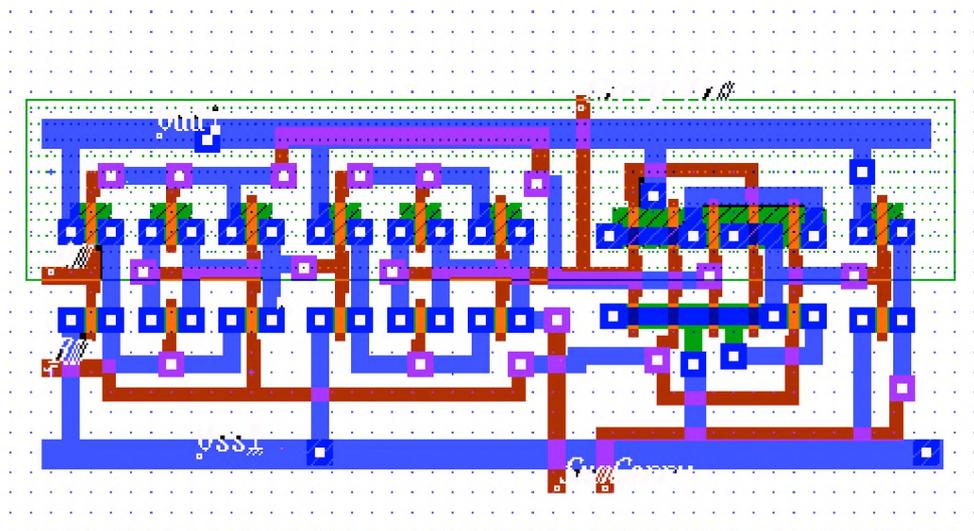


Рис. 53. Топология полного сумматора (файл FADD.MSK)



Рис. 54. Результат моделирования полного сумматора (файл FADD.MSK)

### Компаратор

Таблица истинности и схема компаратора представлены на рис. 55.  $A=B$  является элемент **XNOR** (исключающее ИЛИ-НЕ), а  $A>B$  и  $A<B$  операторы получаются с использованием инверторов и элементов **AND**. На рис. 56 элемент **XNOR** расположена в правой части топологии.

A	B	$A>B$	$A<B$	$A=B$
0	0	0	0	1
0	1	0	1	0
1	0	1	0	0
1	1	0	0	1

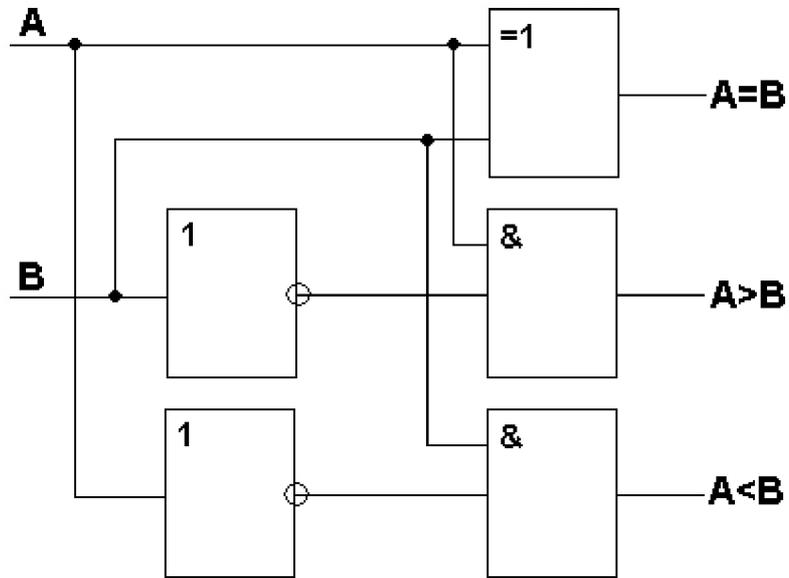


Рис. 55. Таблица истинности и схема ячейки компаратора (File COMP.MSK)

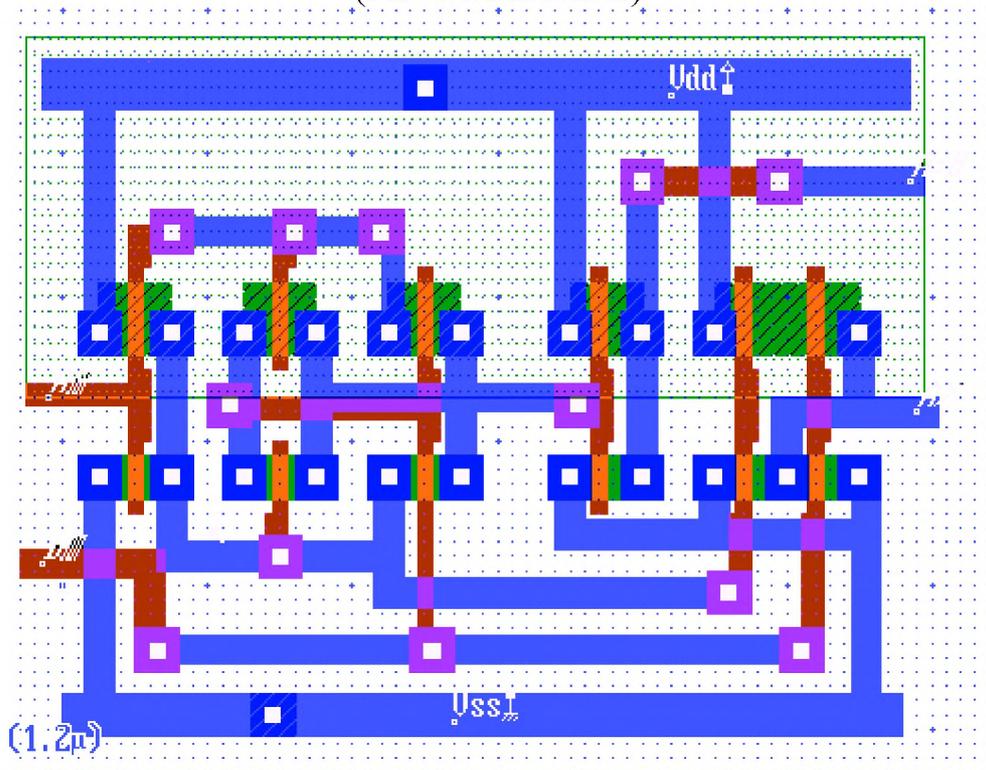


Рис. 56. Топология компаратора (File COMP.MSK)

Результат моделирования компаратора представлен на рис. 57. После инициализации  $A=B$  возрастает до 1. Сигналы  $A$  и  $B$  создают комбинации 00, 01, 10 и 11. Отметим небольшой всплеск на диаграмме  $A>B$  при  $t=12ns$ . Этот всплеск не является ошибкой топологии. Более того, этот эффект показывает, что при переходе  $A$  и  $B$  возникает ситуация  $A>B$ , и быстродействие ячейки достаточно для реагирования на этот переход.

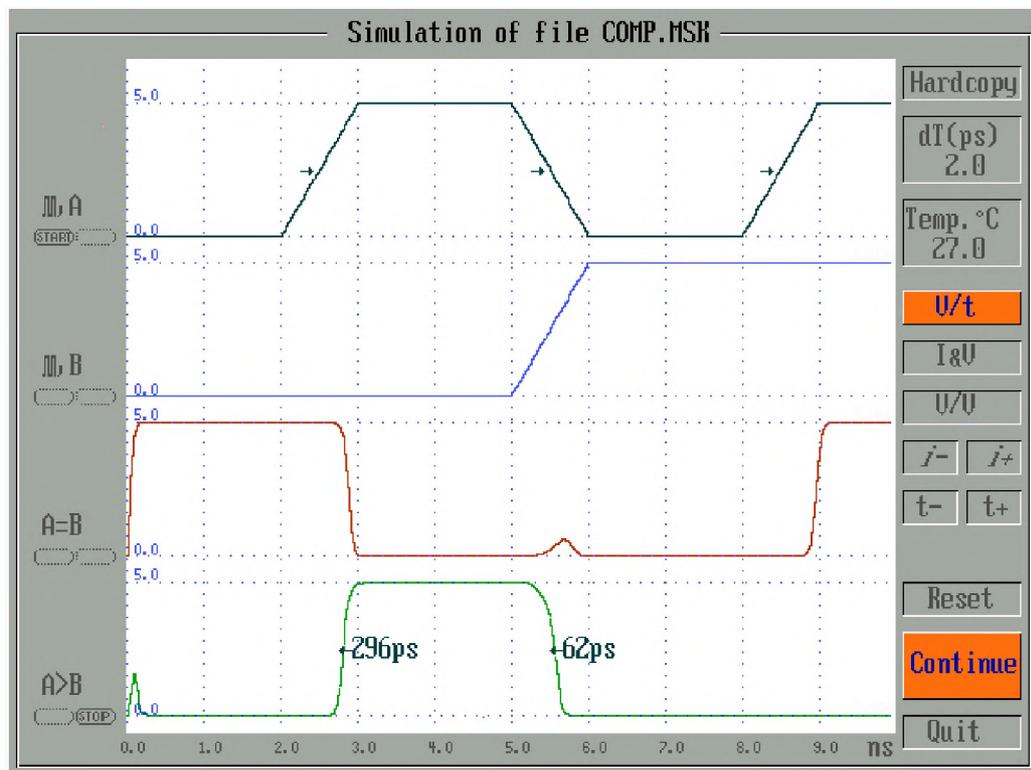


Рис. 57. Результат моделирования компаратора (файл COMP.MSK)

## 6. Триггеры и ячейки памяти

### RS триггер (RS Latch)

Ячейка RS триггера образуется из двух соединенных элементов NAND (И-НЕ). Входы Reset и Set являются активными. Состояние памяти соответствует Reset=Set=1. Комбинация Reset=Set=0 не используется.

R	S	Q	NQ
0	0	X	X
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	Q	NQ

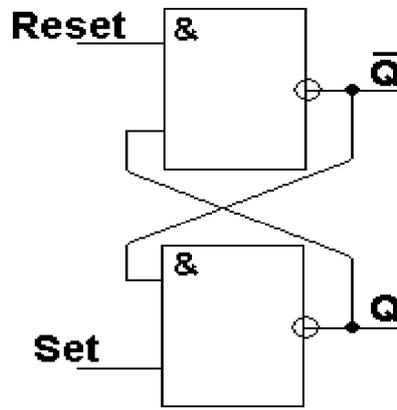


Рис. 58. Таблица истинности и схема ячейки RS триггера, состоящего из двух элементов И-НЕ (файл RS.MSK)

**Топология.** Можно использовать компилятор ячеек для создания ячеек RS триггера посредством уравнений  $Q = \overline{(R \cdot nQ)}$ , перед  $nQ = \overline{(Q \cdot S)}$ . Второй скомпилированный элемент NAND располагается справа от первого элемента, как показано на рис. 59. Создайте соединения между этими ячейками, используя металл и поликремний.

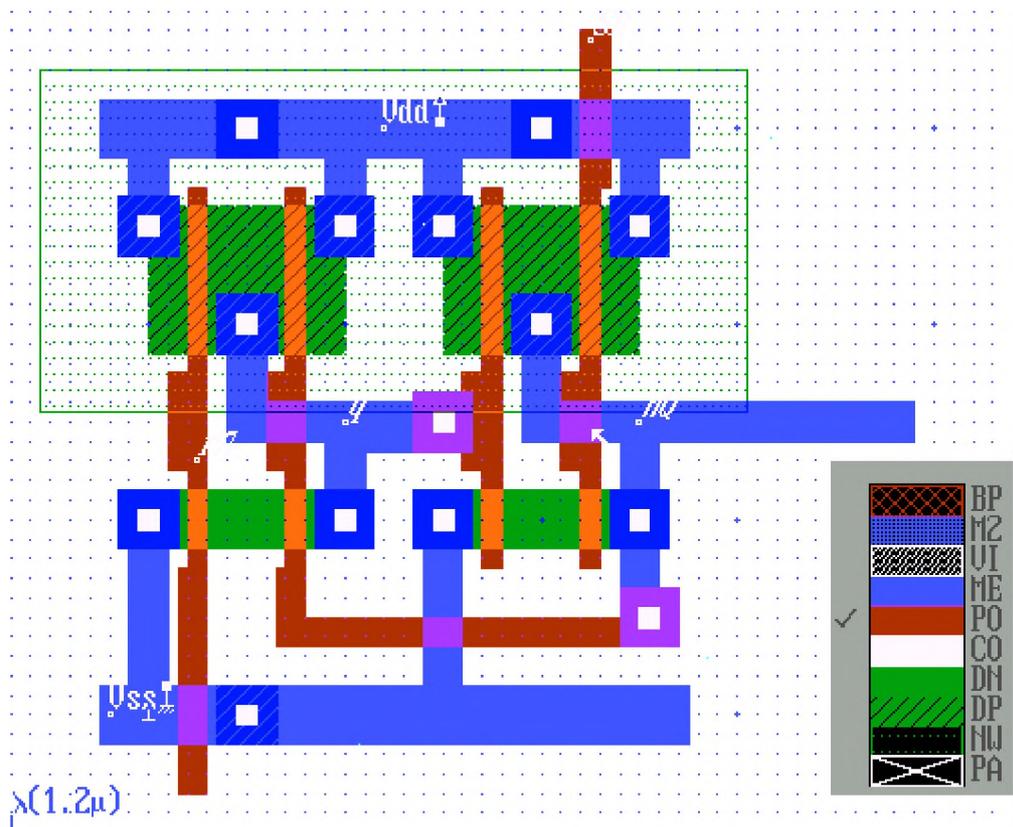
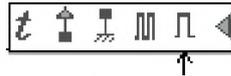


Рис. 59. Топология ячейки RS триггера из двух элементов NAND (файл RS.MSK)

**Моделирование.** Присвойте отрицательный импульс узлу R. Иконка для создания импульса входит в состав иконок моделирования и показана ниже.

Выберите эту иконку и затем нажмите вблизи Reset Input. Появится окно с параметрами импульса. По умолчанию этот импульс положителен. Инвертируйте показание напряжения, расположенное в левой части окна, чтобы задать отрицательный импульс.

Назначьте другой отрицательный импульс для Set. Этот импульс автоматически задерживается относительно предыдущего, назначенного для Reset.



Импульс

Другими словами, можно загрузить существующую ячейку RS триггера. Для этого осуществите последовательность **File**→**Read**→**RS.MSK**. Нажмите **SIMULATE** в главном меню. На экране появится временная диаграмма (рис. 60.).

Для осуществления моделирования проделайте следующие действия:

1. Выводы **R** и **S** фиксируются равными 1. Ячейка находится в состоянии памяти.
2. К выводу **R** приложен отрицательный импульс. Выходной узел триггера **Q** переходит в состояние 0.
3. Некоторое (небольшое) время спустя, на **S** подается отрицательный импульс. Выходной узел триггера **Q** находится в состоянии 1.

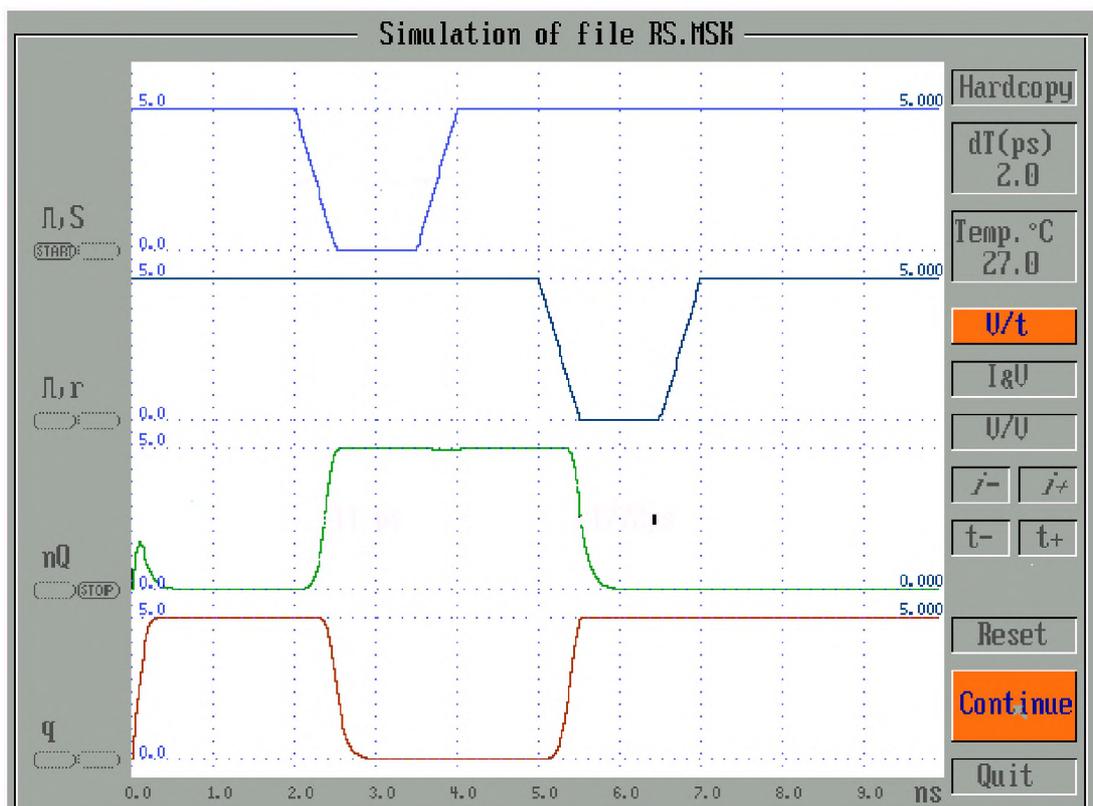


Рис. 60. Результат моделирования ячейки RS триггера (файл RS.MSK)

## D триггер (D Latch)

Таблица истинности и схема статического D триггера, называемого статическим элементом D-FLIP-FLOP, показаны на рис. 61. Данные с входа D триггера передаются на выход, если входной сигнал находится в состоянии 1. Когда сигнал возвращается на уровень 0, триггер сохраняет свое последнее значение.

D	H	Q	nQ
0	0	Q	nQ
1	0	Q	nQ
0	1	0	1
1	1	1	0

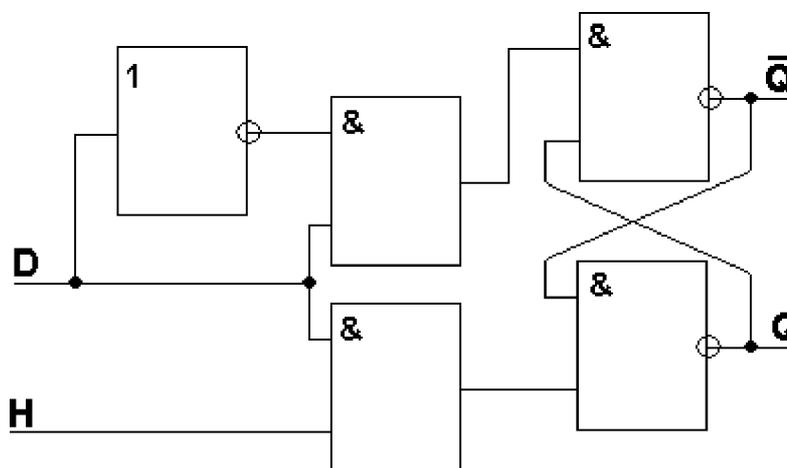


Рис. 61. Таблица истинности и схема D триггера (файл **DLATCH.MSK**)

**Топология.** Скомпилируйте один инвертор  $nd=/d$ . Скомпилируйте два сложных элемента AND/NOR, используя предложения  $Q/(nQ+(nd.h))$  и  $nQ=/(Q+(d.h))$ . Создайте соединения и запустите программу Design Rule Checker. Присвойте сигнал узлу H. Присвойте сигнал узлу D.

Другими словами, можно загрузить топологию D триггера, используя команды **File** → **Read** → **DLATCH.MSK** (рис. 62.).

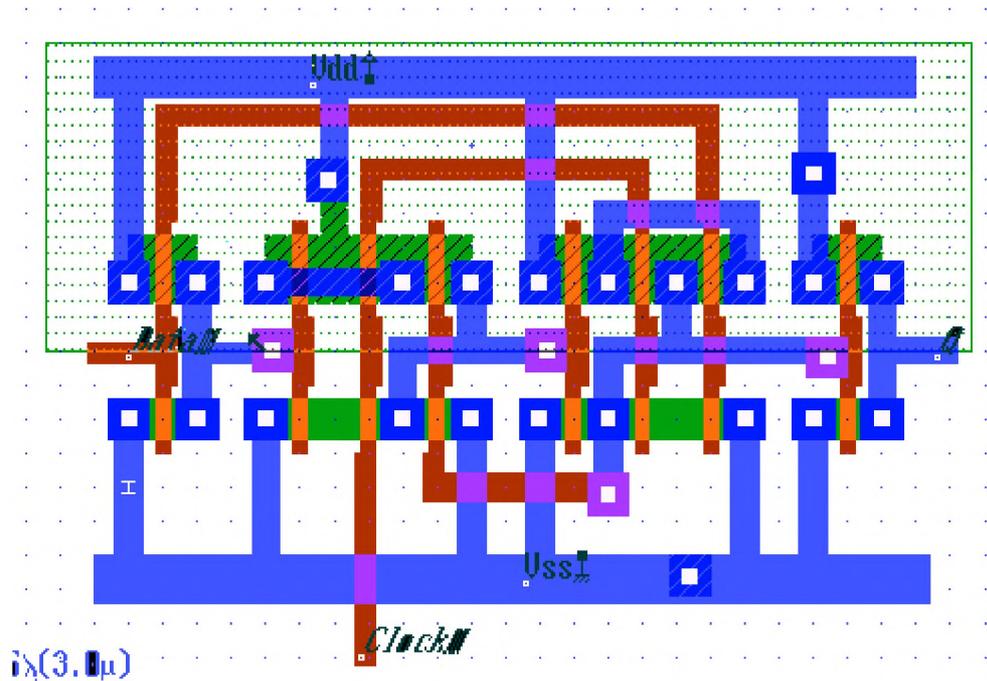


Рис. 62. Топология D триггера ( файл **RS.MSK**)

**Моделирование.** Нажмите **SIMULATE** в главном меню. На экране монитора появятся временные диаграммы (рис. 63.). Последовательность моделирования состоит в следующем:

1. Сигнал в узле Н находится в состоянии 0, так что триггер находится в состоянии памяти.
2. Сигнал на входе D изменяется. Никаких изменений не происходит на выходе.
3. Сигнал в узле Н достигает уровня 1. На выходе Q копируется сигнал входа D.
4. Сигнал в узле Н возвращается на уровень 0. Сигнал на выходе Q сохраняет свое последнее значение.

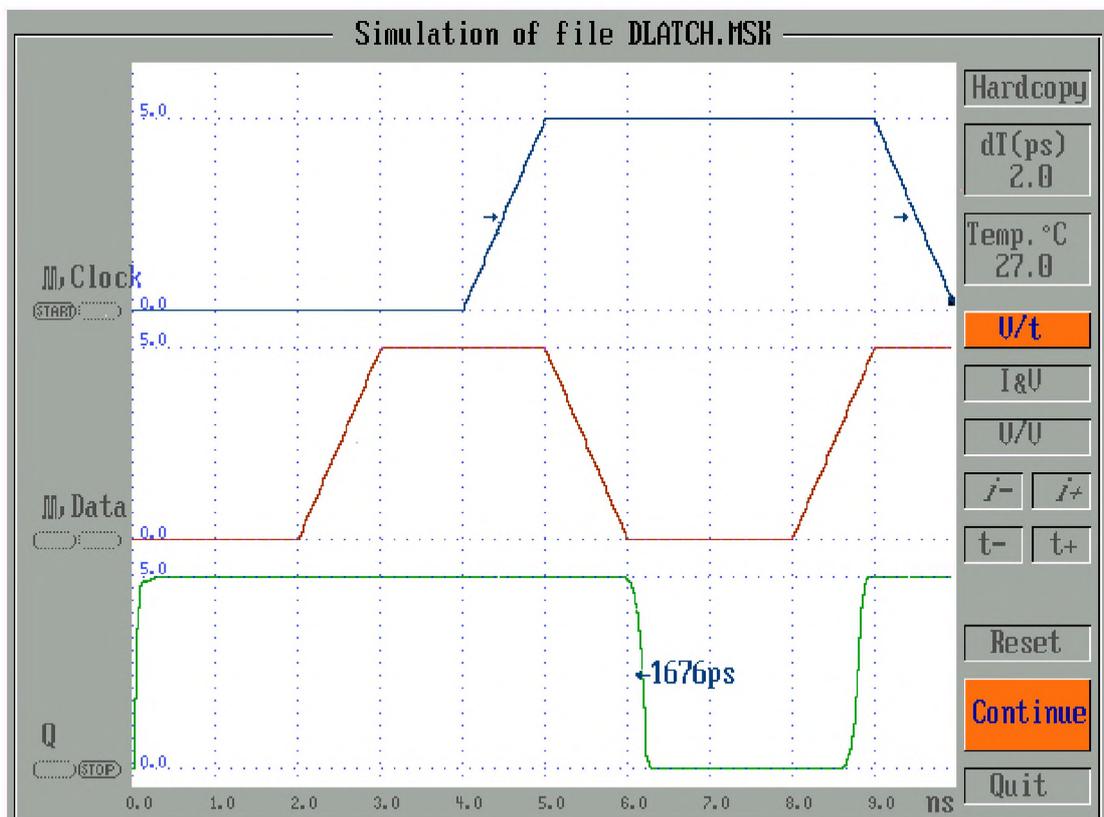


Рис. 63. Результат моделирования D триггера (файл RS.MSK)

### Ячейка ОЗУ (RAM Memory)

Схема статической ячейки памяти используется в статическом ОЗУ с высокой емкостью и представлена на рис. 64,а. Схема состоит из двух инверторов и двух nМОП транзисторов. Обычные размеры ячейки памяти Megabit SRAM составляют 256x256 ячеек или больше. Выбор режима Sel означает, что все ячейки будут в одном ряду. Режимы Data и nData означают, что все ячейки будут находиться в одной колонке.

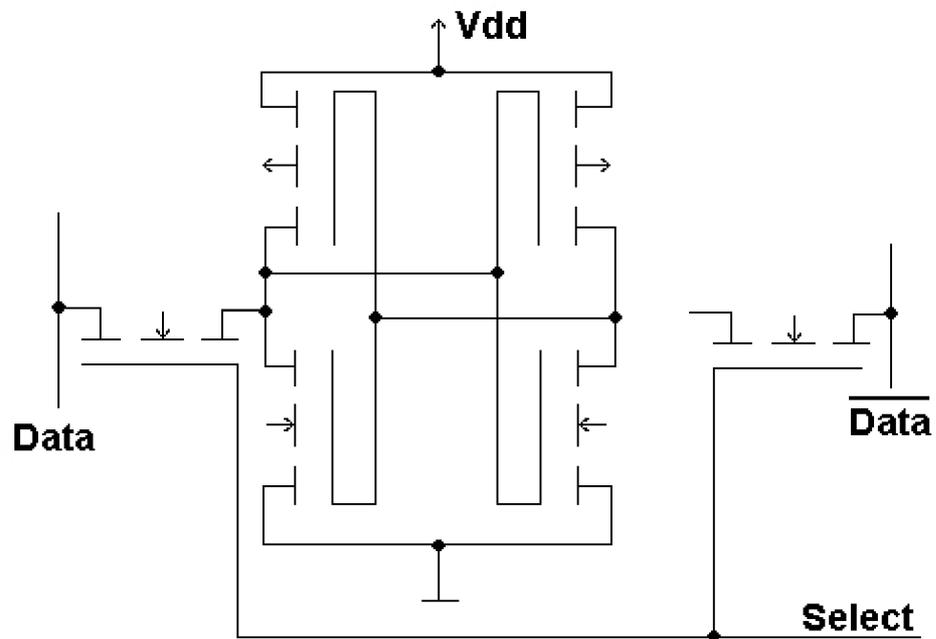


Рис. 64,а. Схема статической ячейки ОЗУ (RAM.MSK).

Топология ячейки ОЗУ представлена на рис. 64,б. Для ее считывания нажмите **File** → **Read** → **RAM.MSK**. Сигналы **Data** и **nData** проходят через металл и пересекают ячейку от верха до низа. Это позволяет легко дублировать ячейку ОЗУ матричным способом.

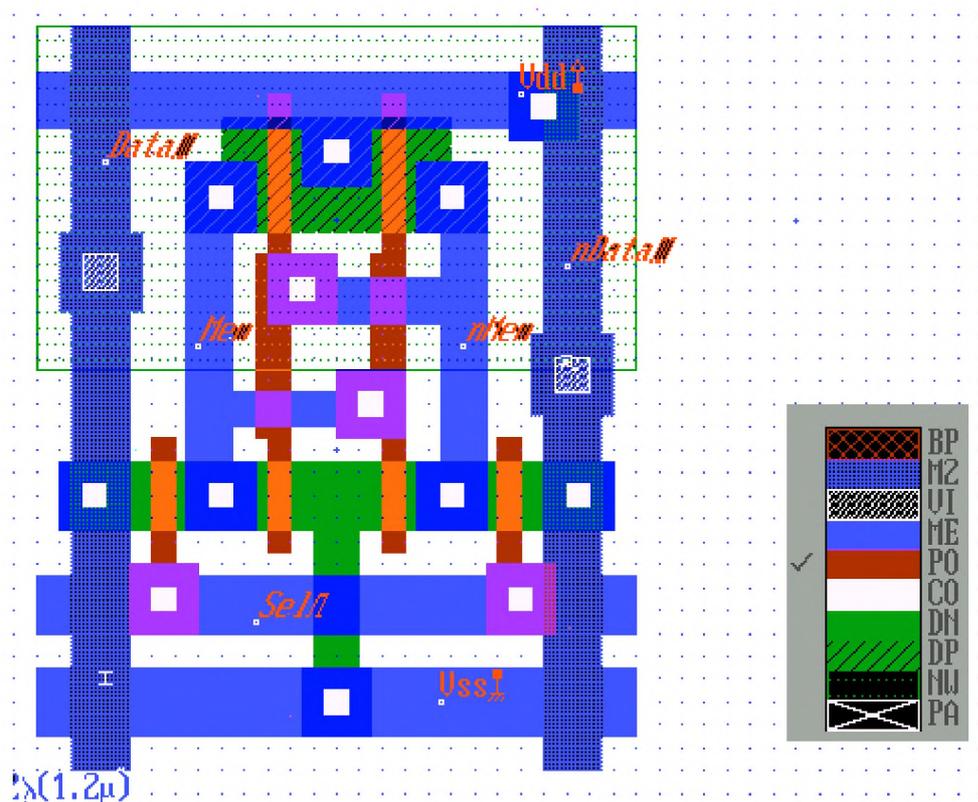


Рис. 64,б. Топология ячейки статического ОЗУ (RAM.MSK)

**Считывание цикла:** Сигнал 1 или 0 должен быть подан на **Data**, а инвертированный сигнал на **nData**. Тогда уровень **Sel** достигает 1. Двух-инверторный триггер принимает величину **Data**. При возврате к уровню 0 ОЗУ переходит в состояние памяти.

**Запись цикла:** Чтобы записать состояние ячейки, необходимо назначение **Sel**. Состояние ОЗУ передается на **Data**, а его инвертированное состояние передается на **nData**.

**Моделирование:** Параметры моделирования соответствуют сигналу, записанному в ОЗУ. Последовательность моделирования состоит в следующем:

1. **Mem** достигает 1, **nMem** 0 (неопределенное значение).
2. **Data** достигает 1, **nData** значения 0.
3. Назначается состояние **Sel**. Ячейка памяти достигает состояния 1.
4. **Data** принимает значение 0, **nData** принимает значение 1.
5. **Sel** находится еще в прежнем состоянии. Ячейке памяти присваивается значение 0.
6. **Sel** – неактивно. ОЗУ находится в состоянии памяти.

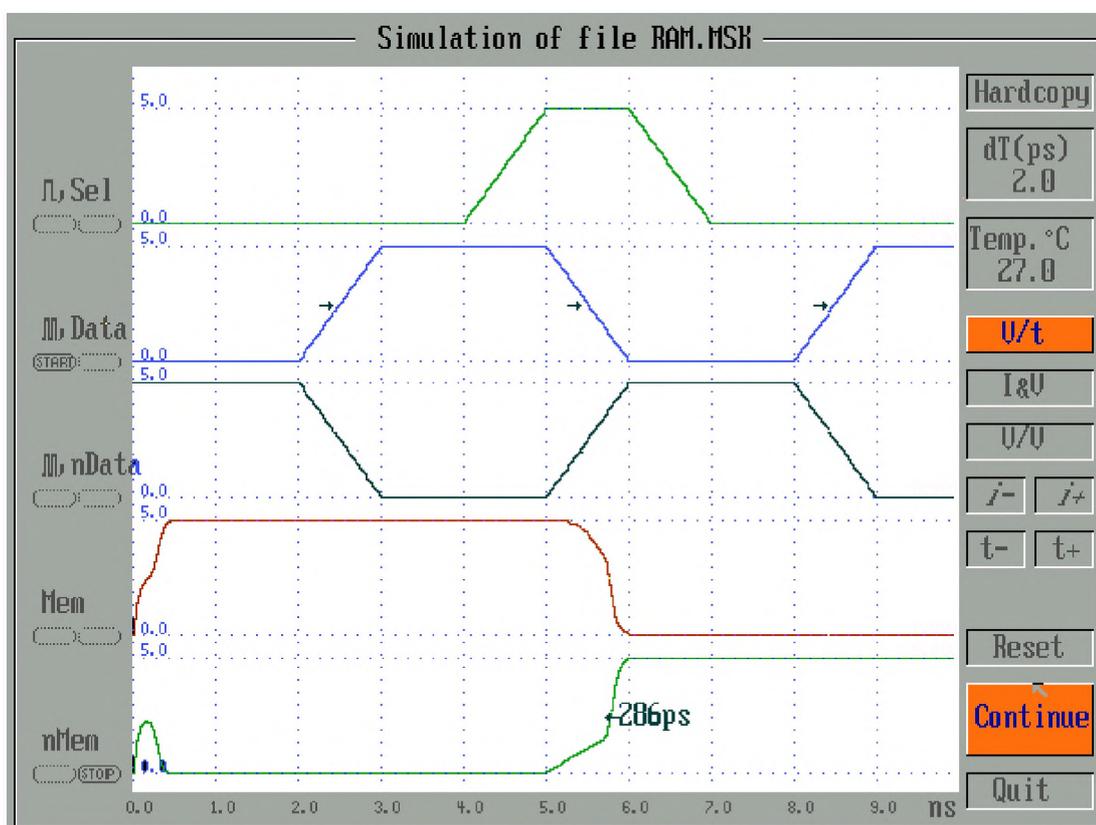


Рис. 65. Сигналы для статической ячейки ОЗУ (файл RAM.MSK)

## 7. Другие проекты

Здесь описываются топологии некоторых типичных проектов. Для каждого проекта представлены топология и основные принципы проектирования. Возможно моделирование всех проектов для любой технологии от 1.2 мкм до 0.5 мкм.

1. Нажмите **Read** → **Filename**.
2. Выберите имя файла.
3. Нажмите **Simulate**.

Заметим, что большинство представленных здесь топологий являются достаточно сложными и требуют большого времени для экстракции и моделирования.

### Четырех-разрядный сумматор (Four-Bit Adder)

Эта схема содержит один полусумматор и три полных сумматора (рис. 66). Схемы позволяют производить четырехбитное суммирование между двумя числами A3, A2, A1, A0 и B3, B2, B1, B0. На рис. 67 представлена топология четырех-разрядного сумматора, а на рис. 68 – соответствующий результат моделирования.

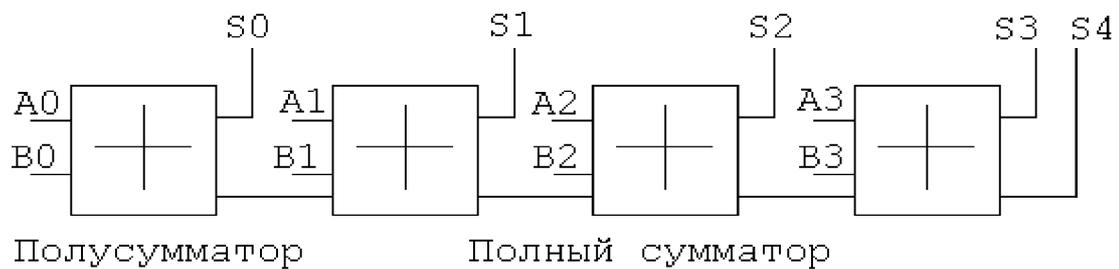


Рис. 66. Схема четырех-разрядного сумматора (файл ADD4.MSK)

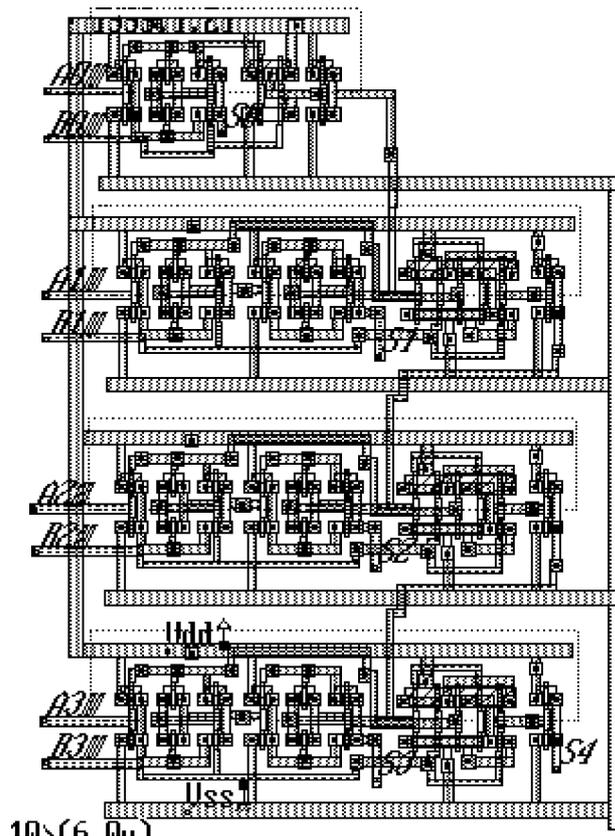


Рис. 67. Топология четырех-разрядного сумматора (файл ADD4.MSK)

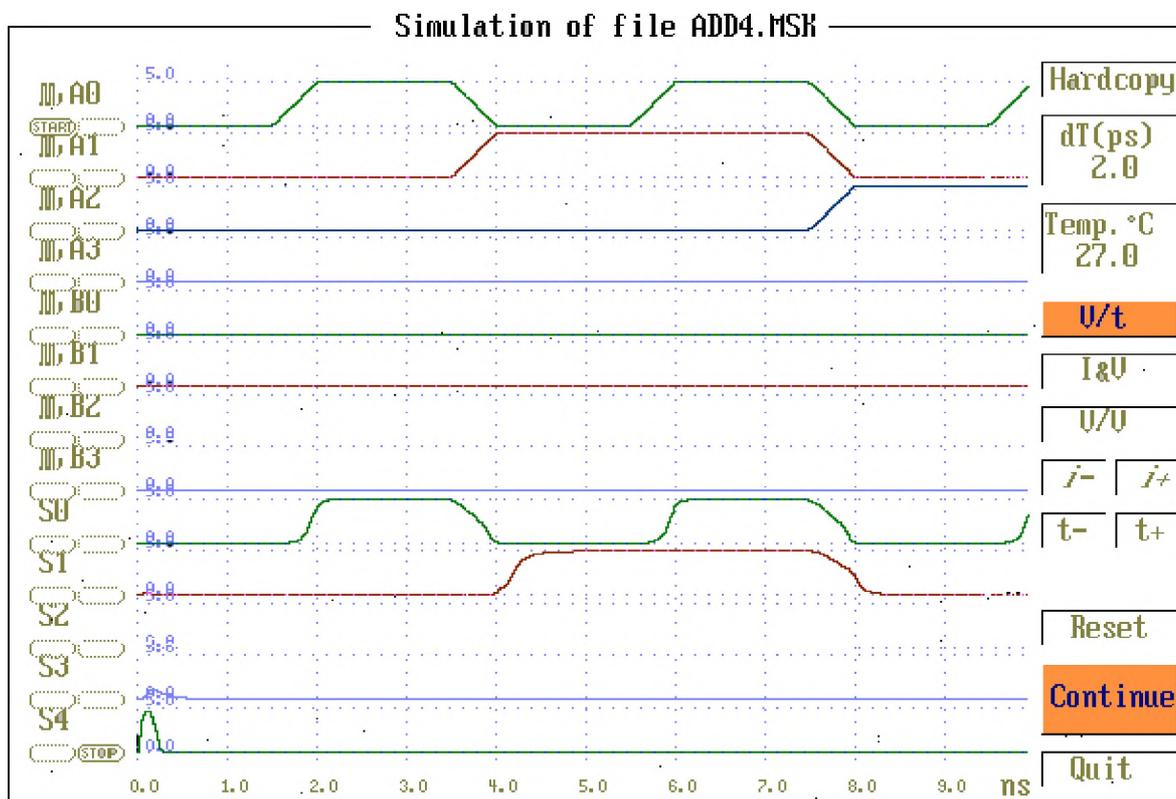


Рис. 68. Результат моделирования четырех-разрядного сумматора (файл ADD4.MSK)

### 2x2-разрядный умножитель (2x2 Bit Multiplier)

Ячейка умножителя состоит из ячейки полного сумматора и элемента NAND (И-НЕ). Схема осуществляет умножение сигнала на входе А (2 бита) с сигналом на входе В (2 бита), а результат подается на узел Р (рис. 69). Проектирование умножителя представляет собой сложную задачу, а процесс моделирования занимает достаточно много времени. Топология умножителя показана на рис. 70. При моделировании (рис. 71) время умножения составляет в худшем случае 5нс.

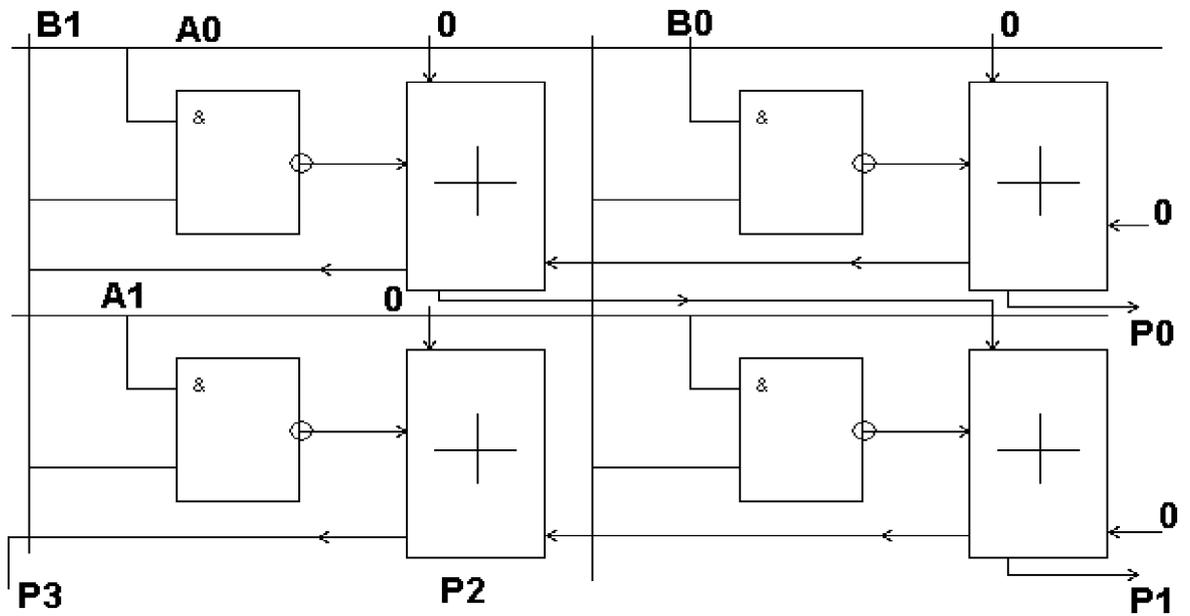


Рис. 69. Таблица истинности и схема 2x2-разрядного умножителя (файл MUL22.MSK)

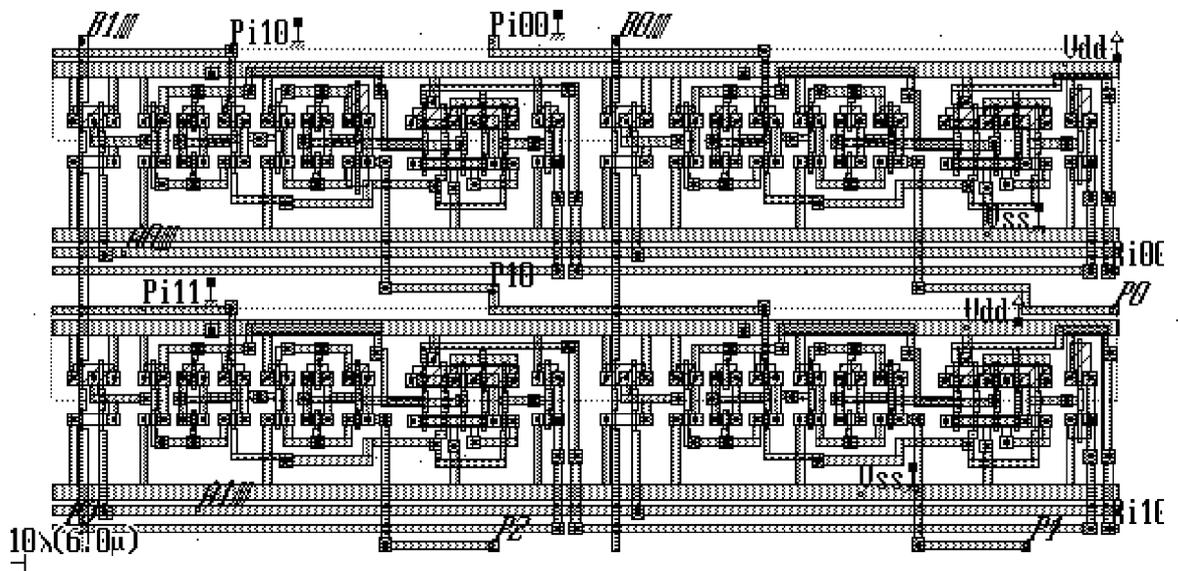


Рис. 70. Топология 2x2-разрядного умножителя (файл MUL22.MSK)

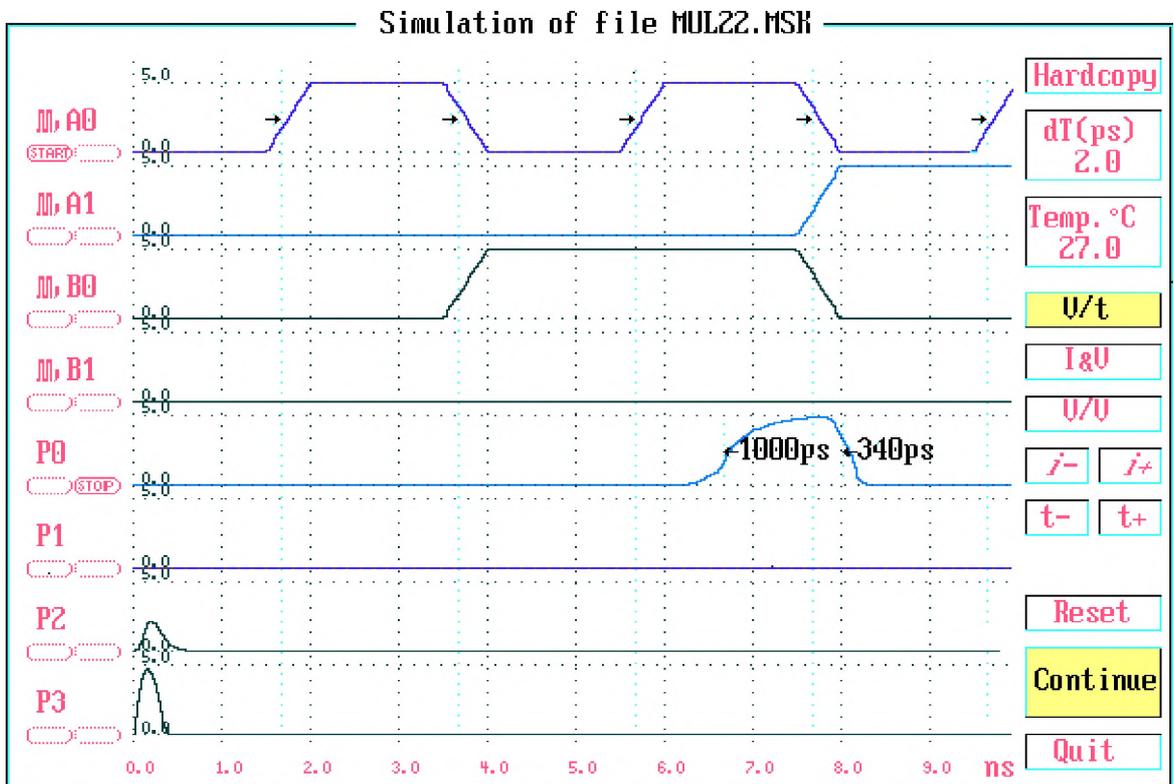


Рис. 71. Результат моделирования 2x2-разрядного умножителя (файл MUL22.MSK)

### Двух-разрядный счетчик (Two-Bit Counter)

Одно-разрядный счетчик представляет собой статический регистр, контролируемый одиночным сигналом Н. Его схема показана на рис. 72. Двух-разрядный счетчик состоит из двух ячеек счетчика, соединенных следующим образом: сигнал второй стадии является выходным сигналом первого. Сигнал Н,  $nH$  изменяет состояние сигнала С0 при каждом возрастающем фронте. Сигнал С0 изменяет состояние С1 при каждом возрастающем фронте. Выходы С0, С1 образуют двух-разрядный счетчик. Описание узлов представлено на рис. 73.

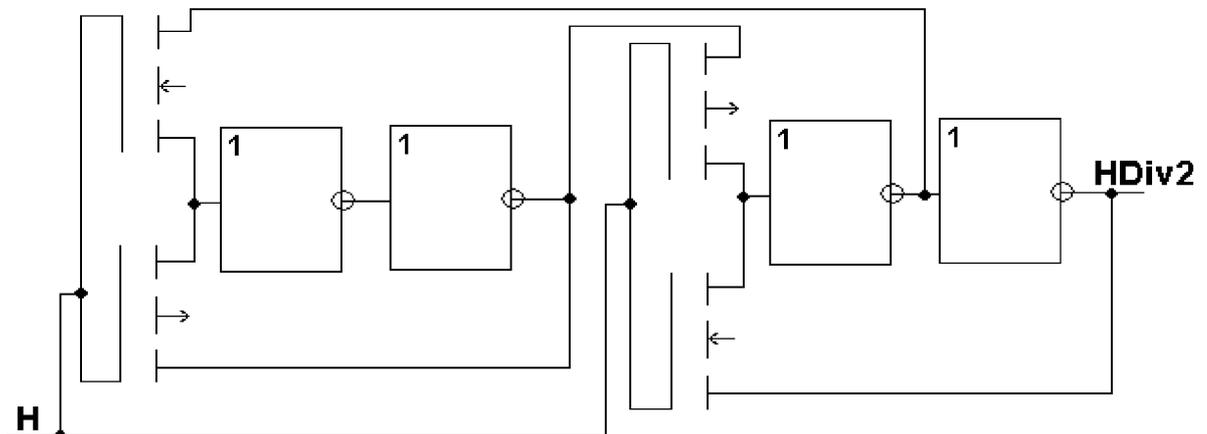


Рис 72. Описание узлов схемы двух-разрядного счетчика (файл DIV2.MSK)

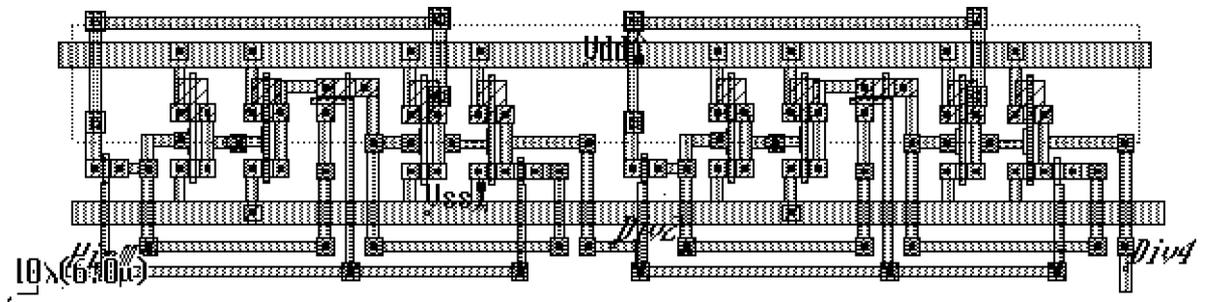


Рис. 73. Топология двух-разрядного счетчика (файл DIV2.MSK)

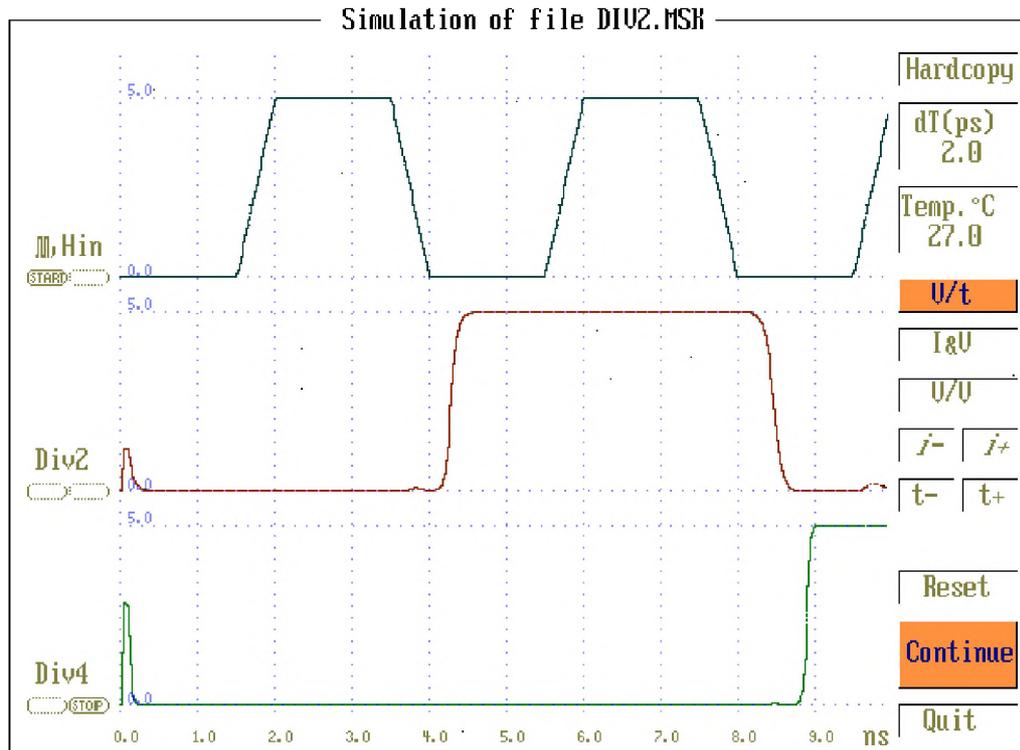


Рис. 74. Результат моделирования двух-разрядного счетчика (DIV2.MSK)

## Широкополосный усилитель ШПУ (Wide-Range Amplifier)

ШПУ состоит из компаратора напряжения и сигнализатора выходного напряжения. Разность между  $V+$  и  $V-$  усиливается и представляет собой результирующее напряжение  $V_{out}$ . Коэффициент усиления вблизи 2.5 V составляет более, чем 1000. Используйте **V&V** опцию режима моделирования для получения переходных характеристик  $V_{out}/V+$ . Напряжение на входе составляет от 0.5 до 4 V.

Описание узлов и схема усилителя показаны на рис. 75, топология - на рис. 76, передаточные характеристики - на рис. 77, а результат DC анализа - на рис. 78.

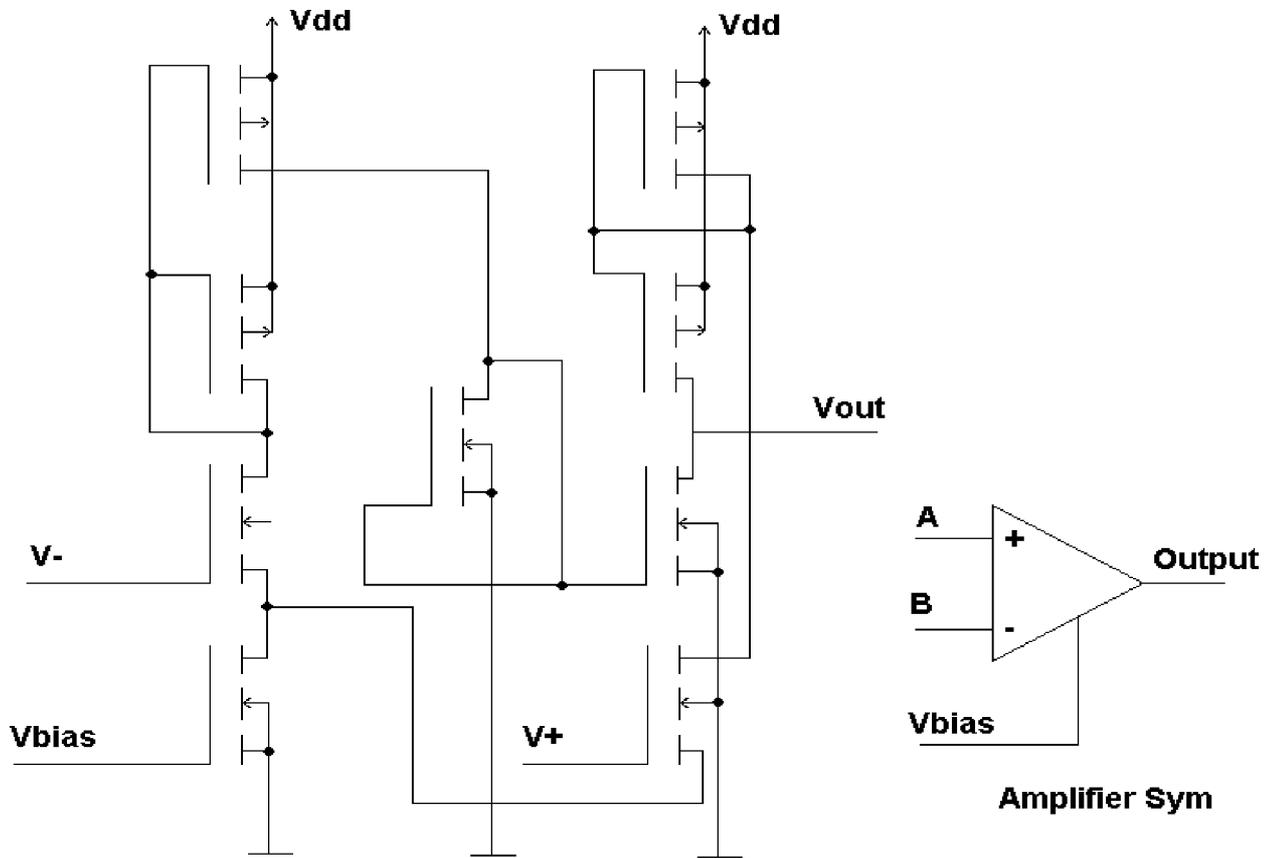


Рис. 75. Описание узлов и схема аналогового усилителя (файл AMPLI2.MSK)

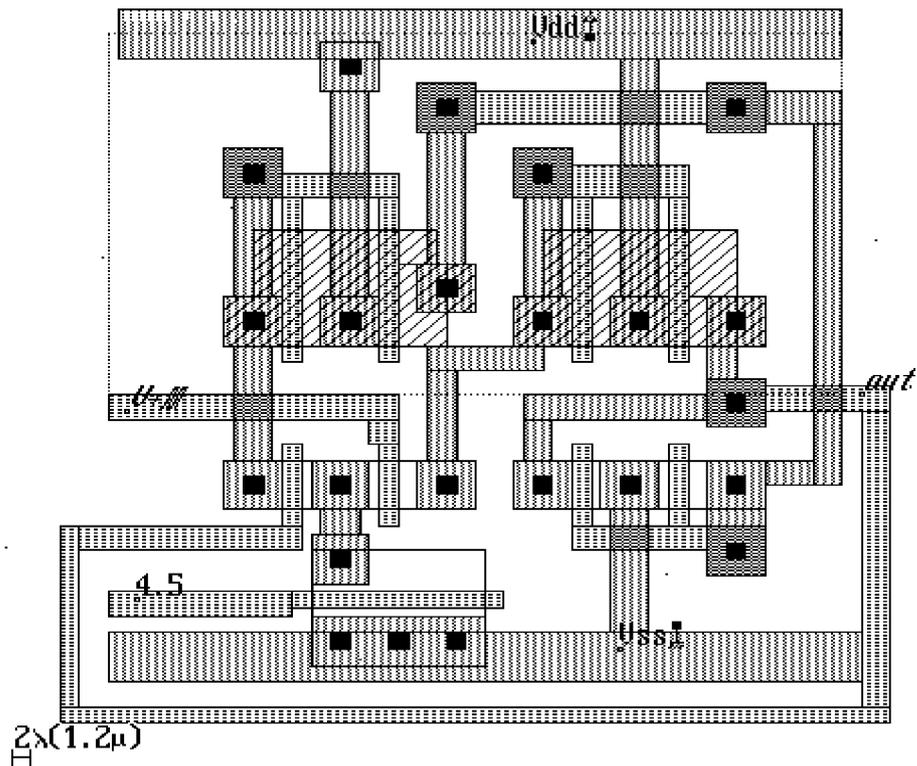


Рис. 76. Топология аналогового усилителя (файл AMPLI2.MSK)

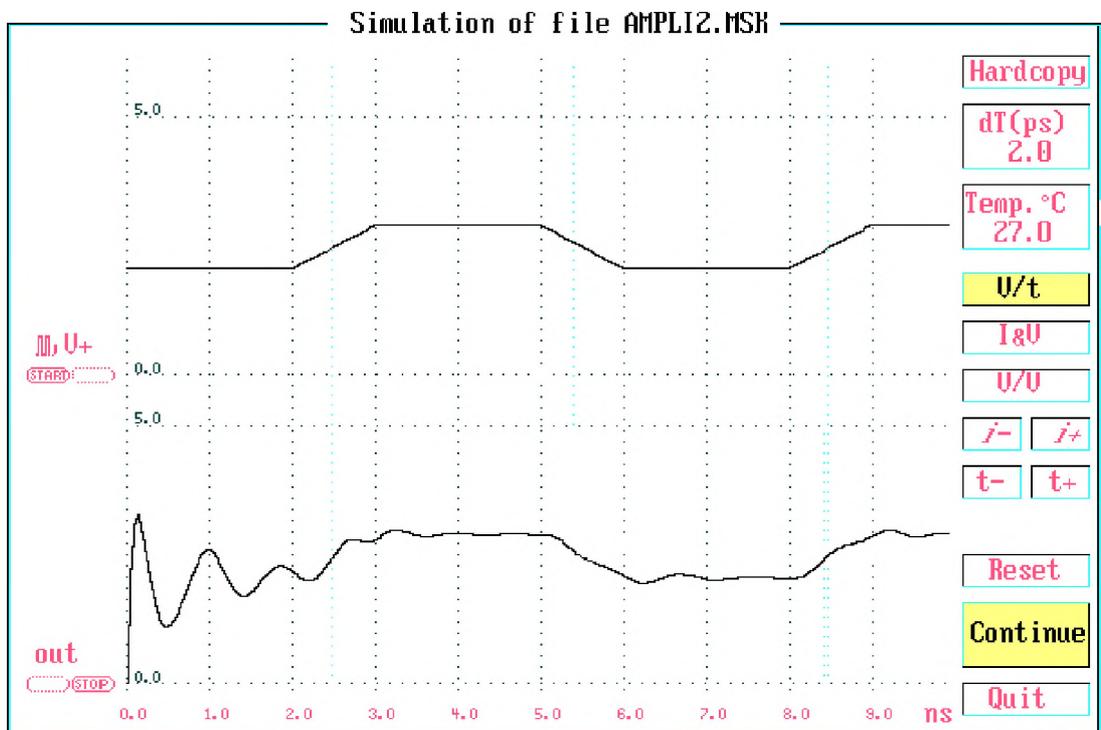


Рис. 77. Передаточные характеристики аналогового усилителя (файл AMPLI2.MSK)

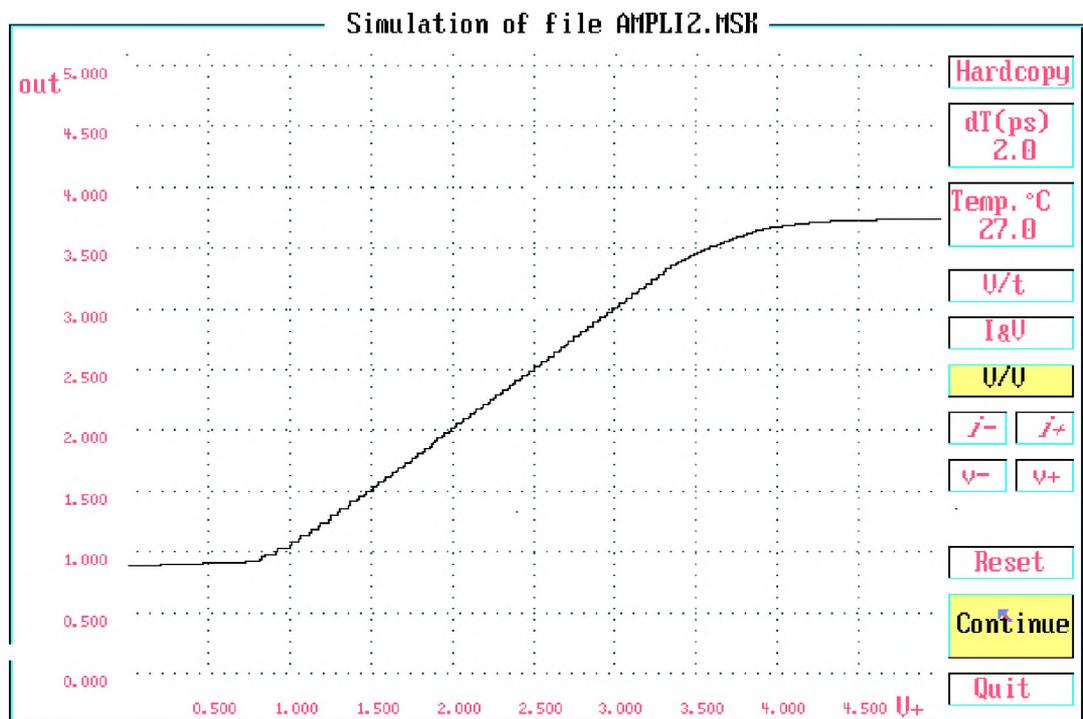


Рис. 78. Результат DC анализа аналогового усилителя (файл AMPLI2.MSK)

## Интерфейс с программой PSPICE

Моделирование передаточных характеристик можно осуществить с использованием режимов “V/t” и “V/V”. К сожалению, АС характеристики не могут быть рассчитаны посредством аналогового моделирования с использованием программы MSK. По команде **File** → **Pspice File** производится преобразование топологии в **PSPICE** совместимое описание, основанное на МОП приборах и паразитных емкостях.

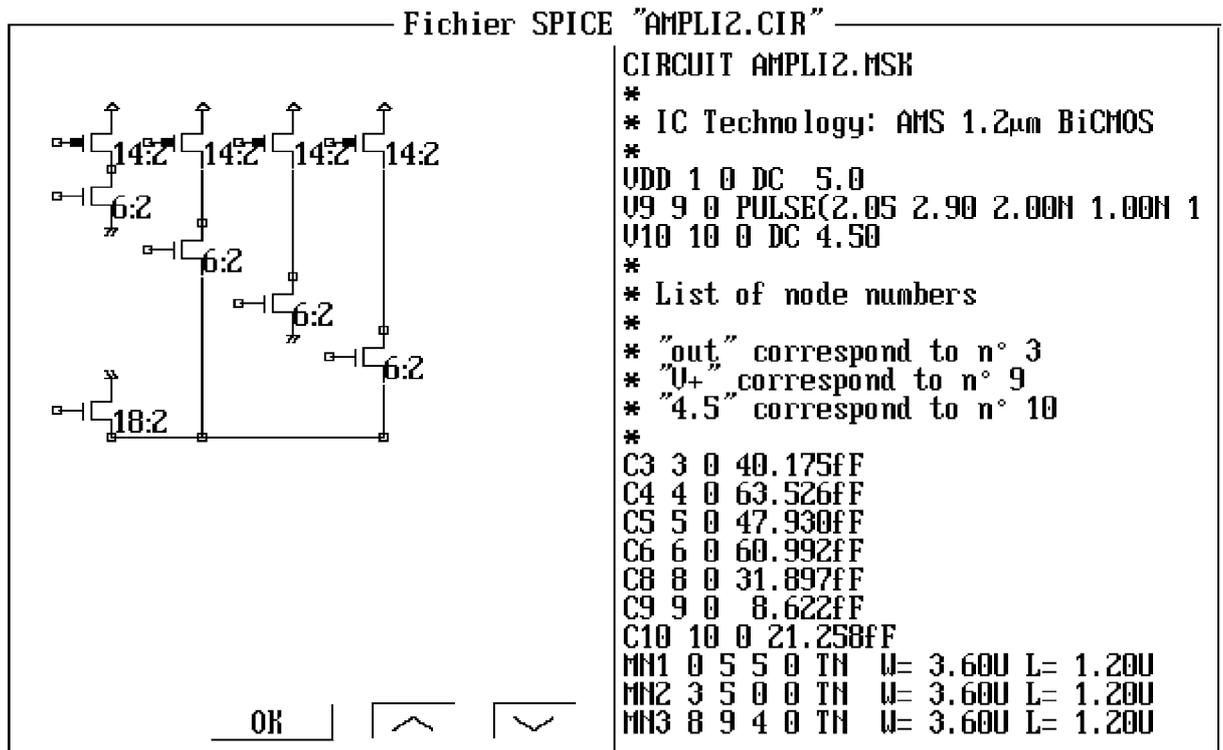


Рис. 79. Генерация файла AMPLI2.CIR, совместимого с программой PSPICE

На рис. 79 показано окно интерфейса. В левой части окна приводится список МОП приборов с их длиной и шириной в единицах  $\lambda$ . В правой части приводится PSPICE совместимый файл “AMPLI2.CIR”, получаемый из электрической экстракции файла с топологией AMPLI2.MSK.

Для получения АС характеристики исходный файл AMPLI2.CIR следует изменить следующим образом: следует объявить АС источник ( выберите Input V+ и добавьте “AC 1 0”), а .TRAN режим следует изменить, например, на .AC DEC 10 1K 100MEG (АС анализ, 10 точек/декаду, от 1kHz до 100 MHz). Режим DB получается посредством использования команды VDB (выходной узел) в режиме PLOT по команде “Add Trace”.

Пример полученной АС характеристики с использованием файла AMPLI2.CIR показан на рис. 80.

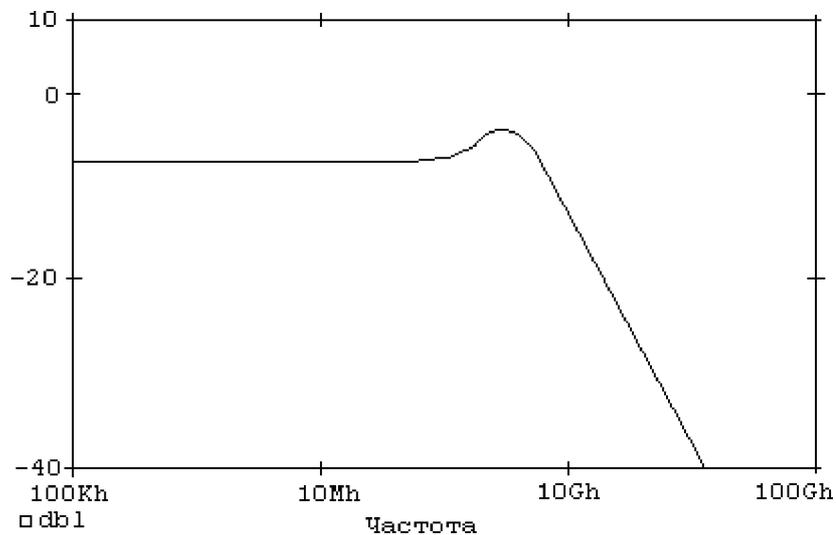


Рис. 80. Результат АС анализа усилителя с использованием программы PSPICE

### **Аналого-цифровой преобразователь АЦП (Analog-Digital Converter)**

АЦП преобразует аналоговое значение  $V_{in}$  в двух-разрядное цифровое значение  $A_0$ ,  $A_1$ . Импульсный преобразователь использует три преобразователя и кодирующую логику для получения величин  $A_0$  и  $A_1$  (рис. 81). Для 8-битного импульса ADC следует использовать 255 компараторов и очень сложную логическую схему.

Поликремний имеет высокое удельное сопротивление (50 Ом/на кв.) и может использоваться в качестве резистора (левая часть рис. 83), что позволяет генерировать промежуточное напряжение, используемое компараторами, располагающимися в середине топологии. Открытые усилители используются в качестве компараторов напряжения. Сравнения производятся декодирующей логикой, расположенной в правой части схемы, что обеспечивает правильную кодировку  $A_0$  и  $A_1$ .

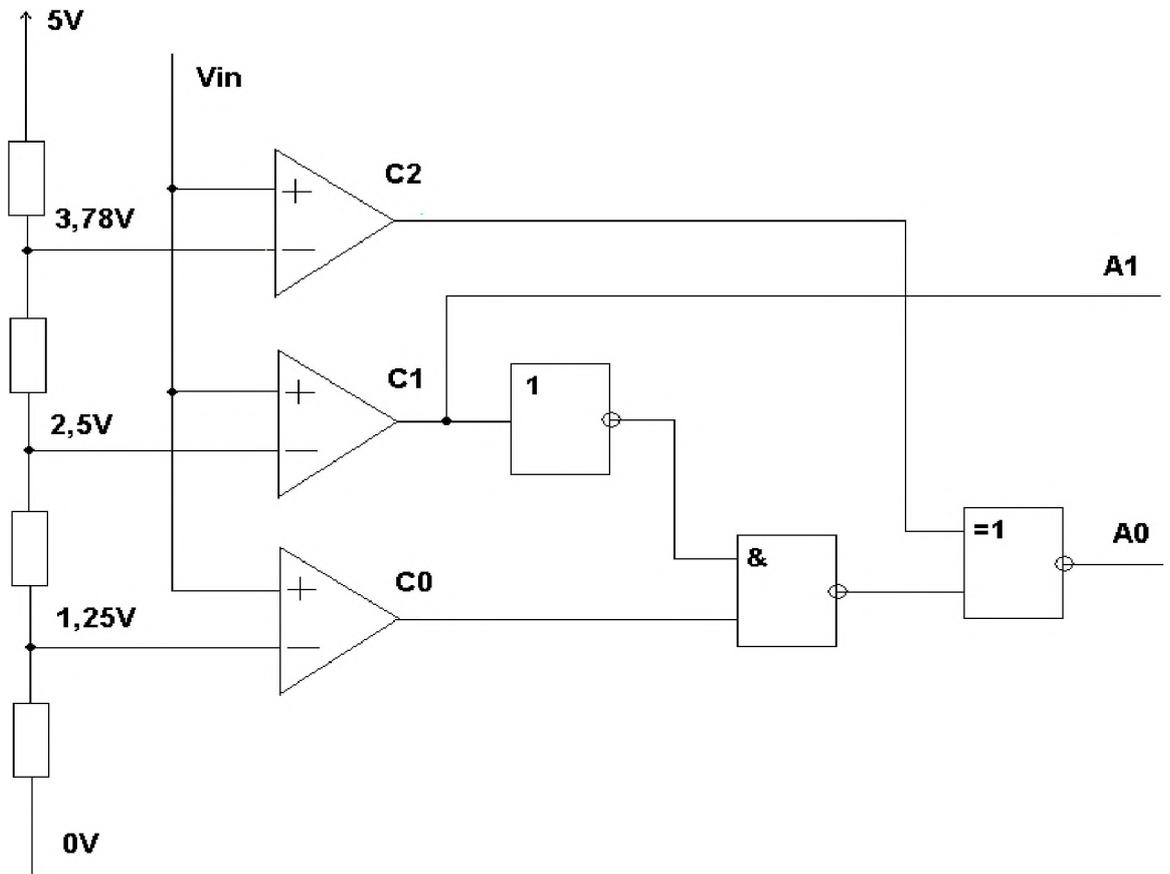


Рис. 81. Описание узлов и схема АЦП (файл ADC.MSK)

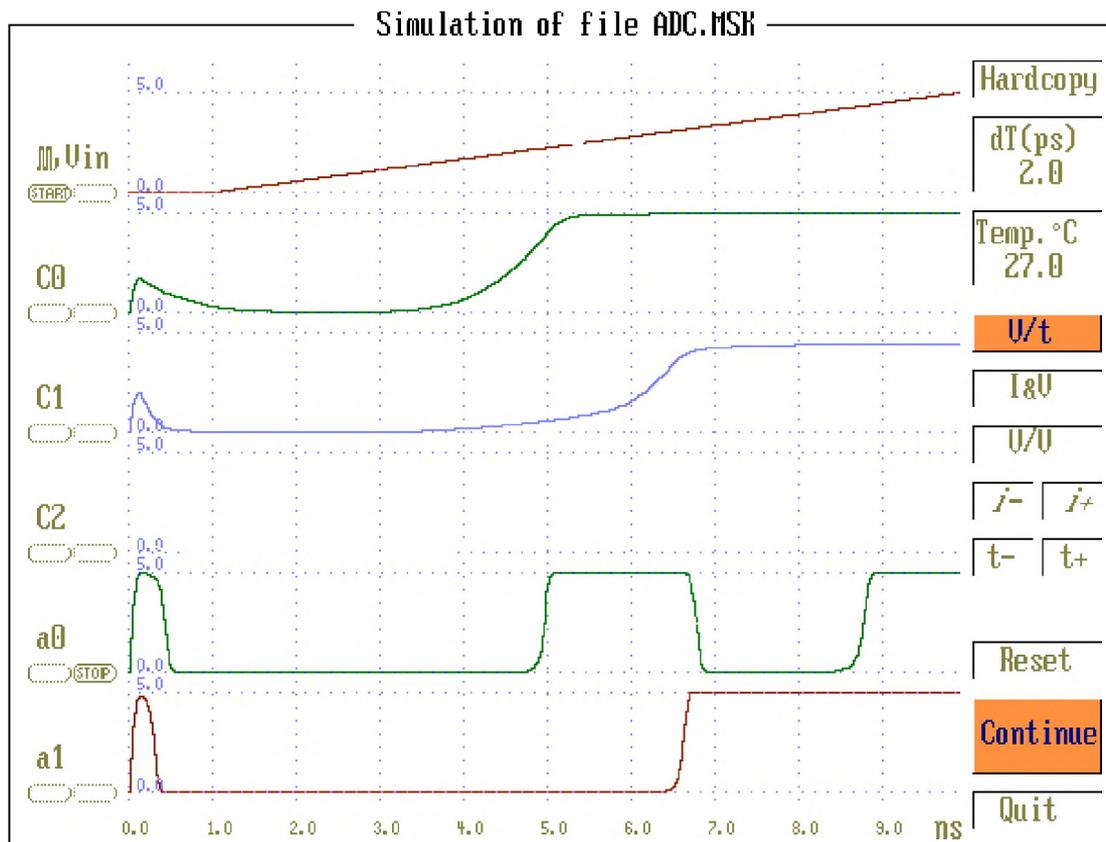


Рис. 82. Результат моделирования АЦП (файл ADC.MSK)

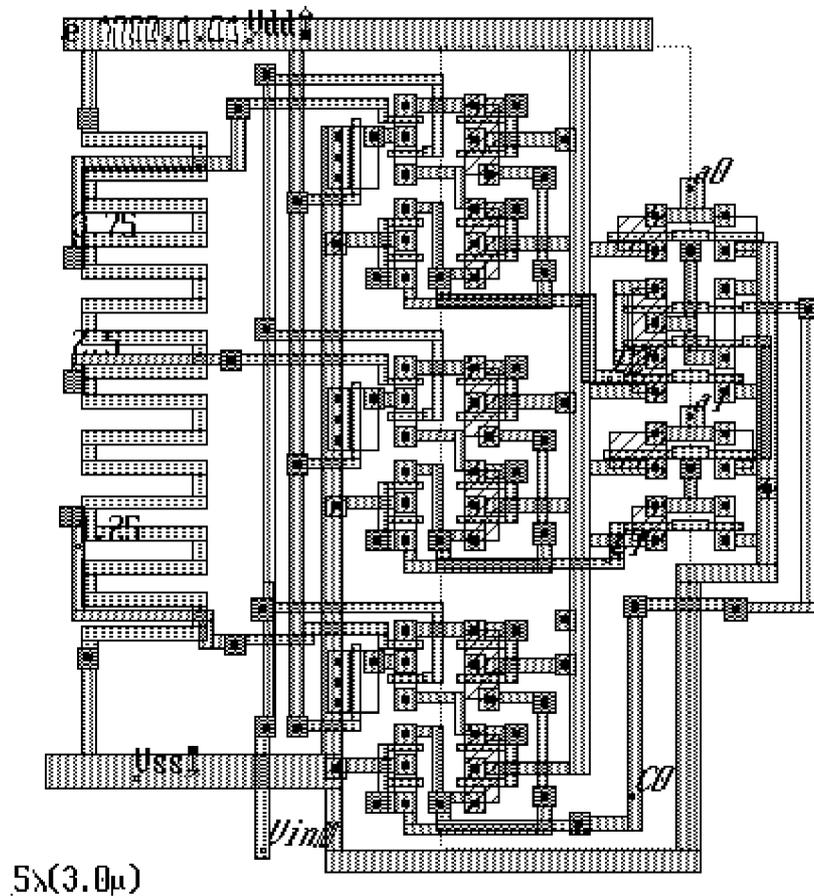


Рис. 83. Топология АЦП (файл ADC.MSK)

### Цифро-аналоговый преобразователь ЦАП (Digital-Analog Converter)

ЦАП конвертирует цифровой трех-разрядный вход A0, A1, A2 в аналоговые значения Data. Схема преобразователя показана на рис. 84. Топология ЦАП представлена на рис. 85.

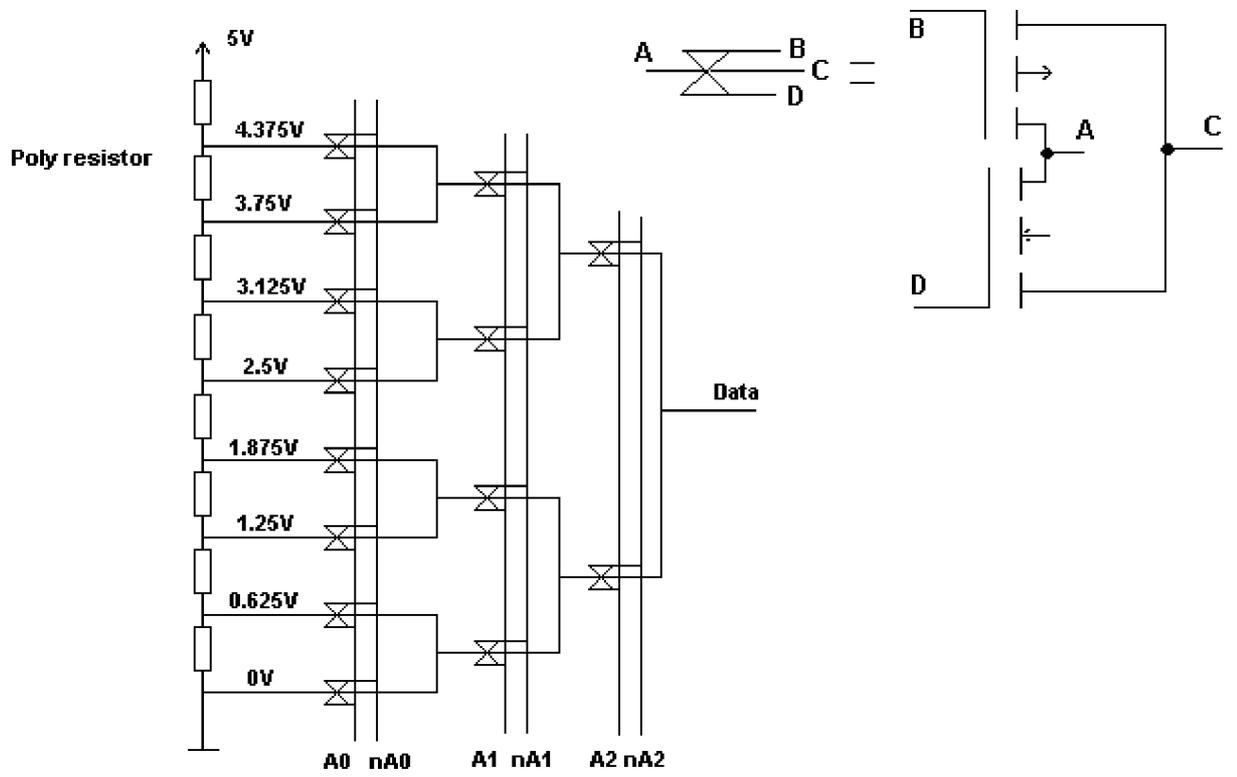


Рис. 84. Описание узлов и схемы ЦАП (файл DAC.MSK)

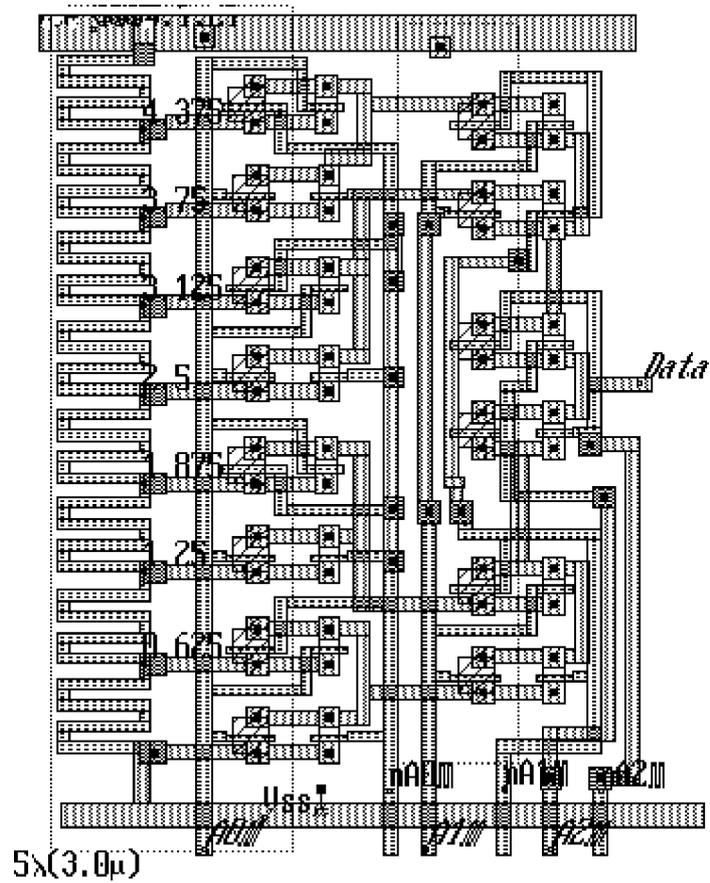


Рис. 85. Топология ЦАП (файл DAC.MSK)

Моделирование ЦАП показывает регулярное увеличение выходного напряжения  $V_{out}$  при различных комбинациях напряжения на входе от 000 (0 V) до 111 (4.375 V).

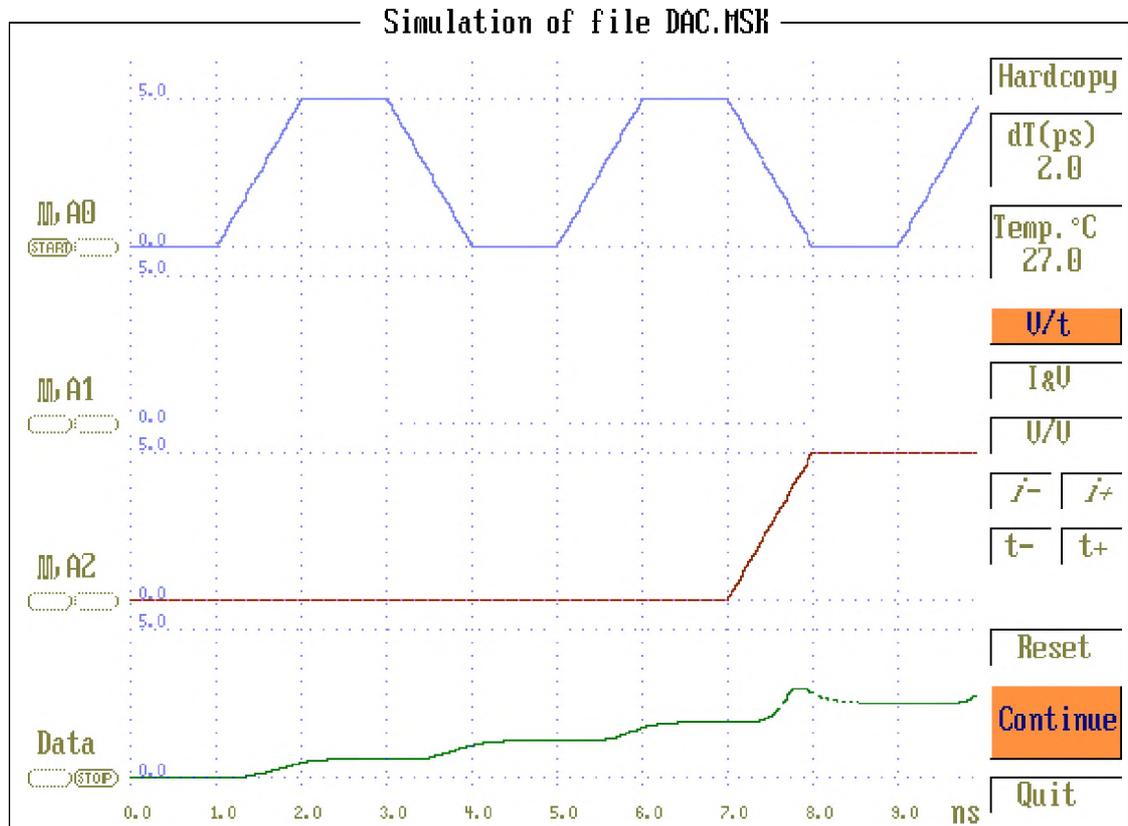
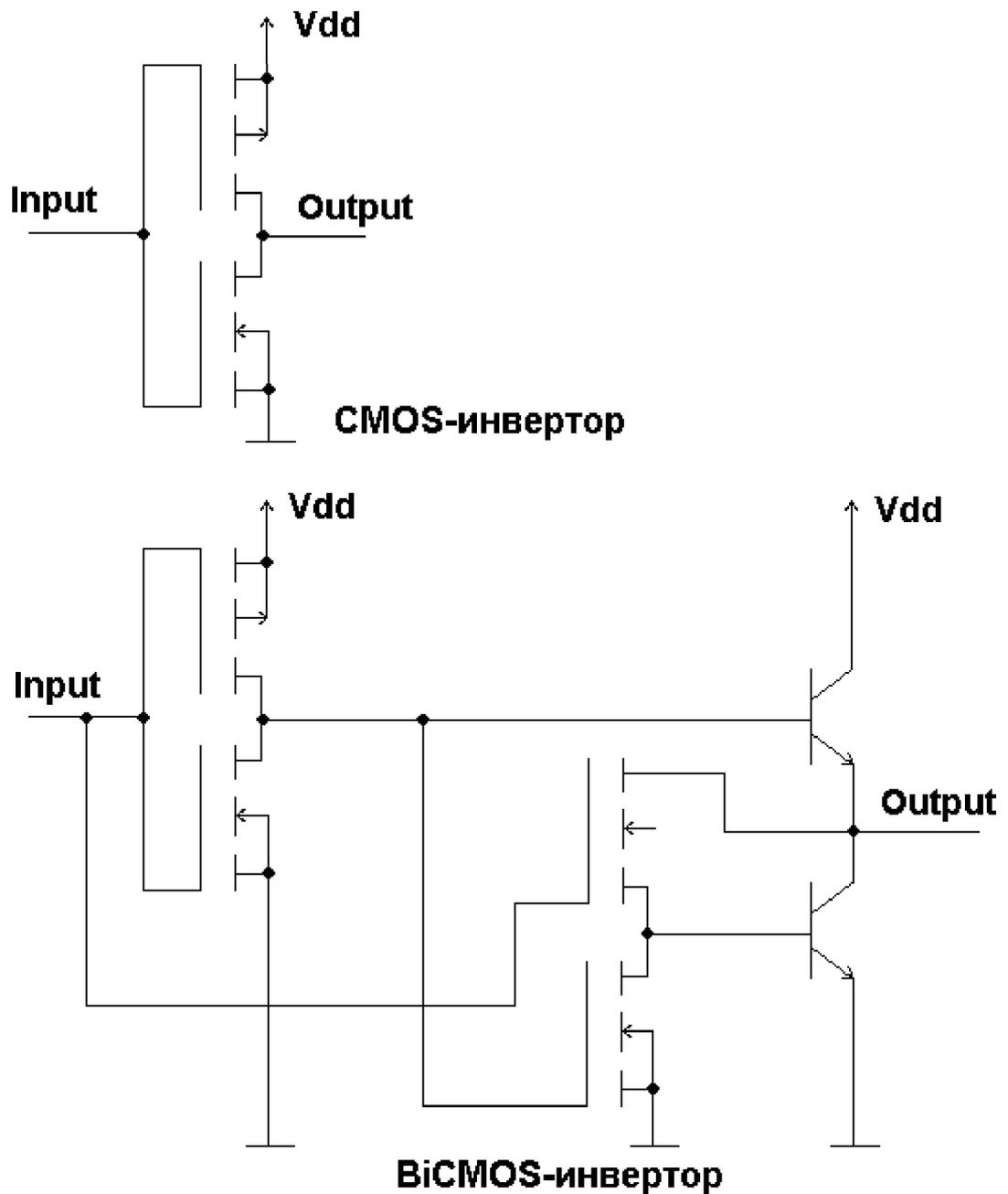


Рис. 86. Результат моделирования ЦАП (файл DAC.MSK)

### БиКМОП инвертор (BiCMOS Invertor)

Для создания БиКМОП инвертора можно использовать биполярный транзистор, имеющийся в библиотеке ячеек. Пригоден только pnp транзистор. Как и для случая p - канального и n – канального приборов, pnp биполярные транзисторы имеют лучшие характеристики, чем npn. Вначале следует выбрать технологию AMS 1.2 мкм BiCMOS. Нажмите **File**→**Foundry** и выберите **AMS12**. При этом загрузится БиКМОП процесс из AMS с соответствующими МОП и биполярными параметрами.

Пример смешанной МОП и биполярной схемы показан на рис.87. Инвертор в левой части представляет собой обычный КМОП инвертор. Инвертор в правой части – смешанный КМОП биполярный инвертор. На рис.88 показаны топология и результаты моделирования. Отметим, что здесь добавлены конденсаторы с большой емкостью, чтобы показать, что загрузка КМОП инвертора происходит гораздо медленнее, чем БиКМОП инвертора.



**Рис. 87. Схема биполярного КМОП инвертора и сравнение с обычным КМОП инвертором (файл BICOM.MSK)**

### **БиКМОП ячейка И-НЕ (BiCMOS NAND Gate)**

Схема БиКМОП НЕ–И вентиля показана на рис. 88. КМОП НЕ–И вентиль располагается в правой части схемы и контролирует базу рnp-транзистора. Три nМОП транзистора генерируют точные характеристики базы рnp-транзистора.

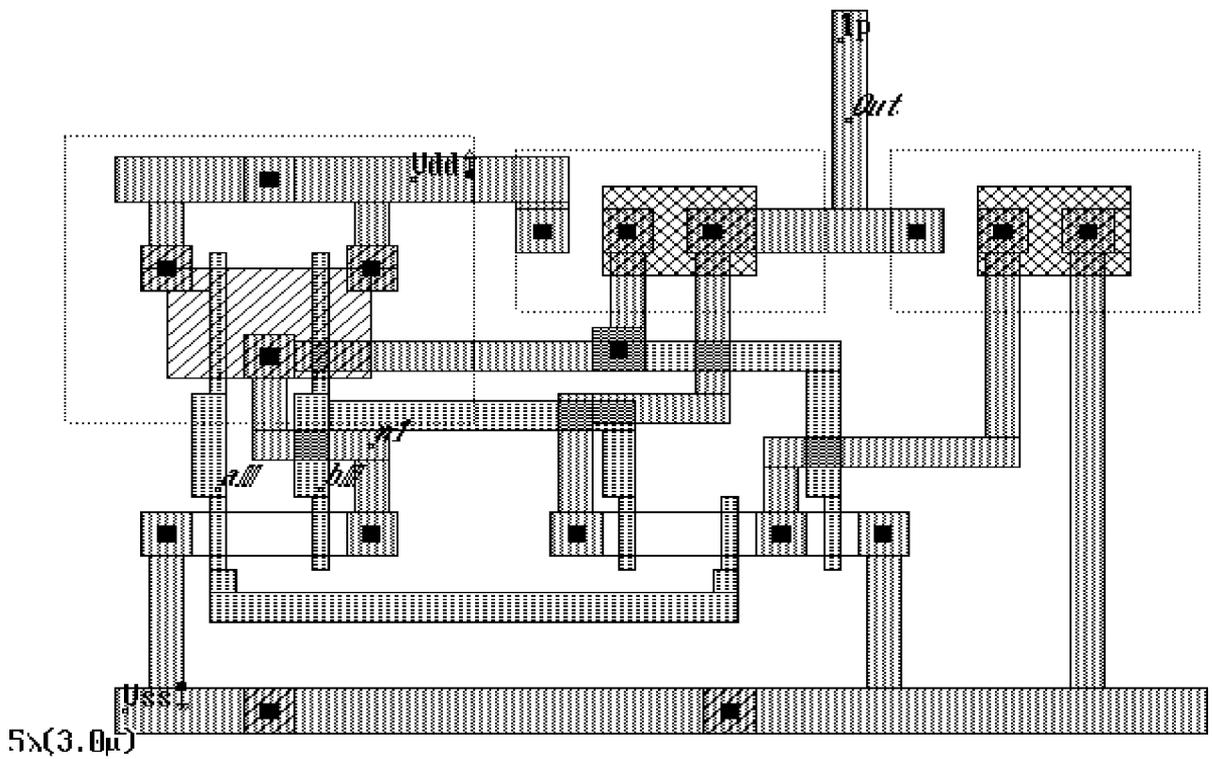
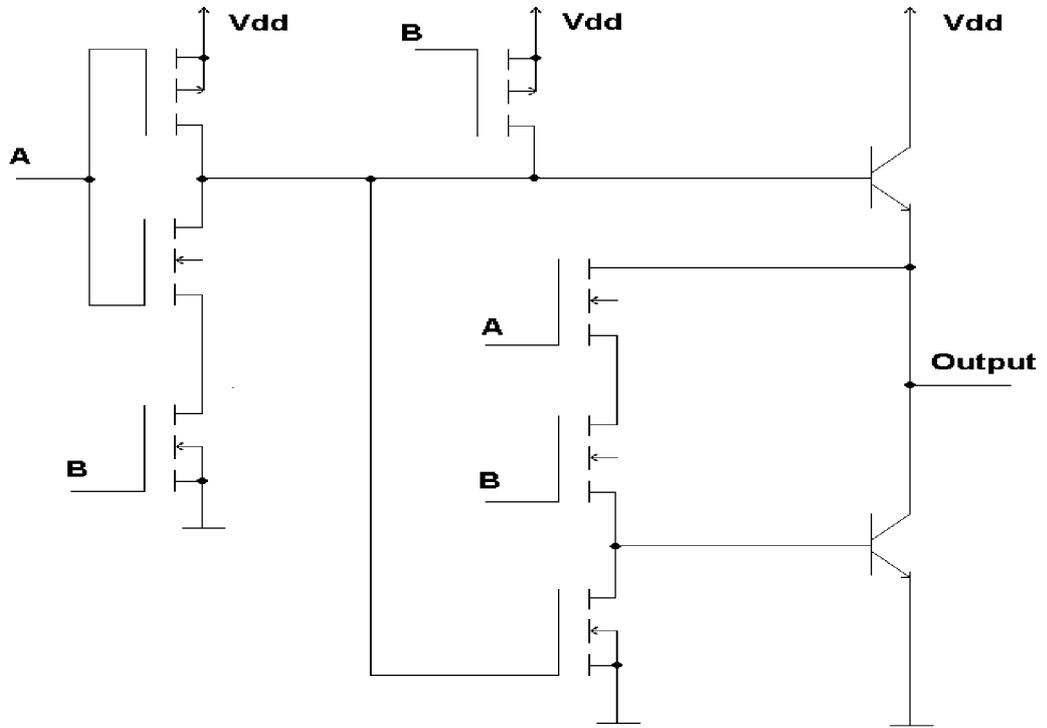


Рис. 88. Схема и топология БиКМОП элемента И-НЕ (файл BiNAND.MSK).

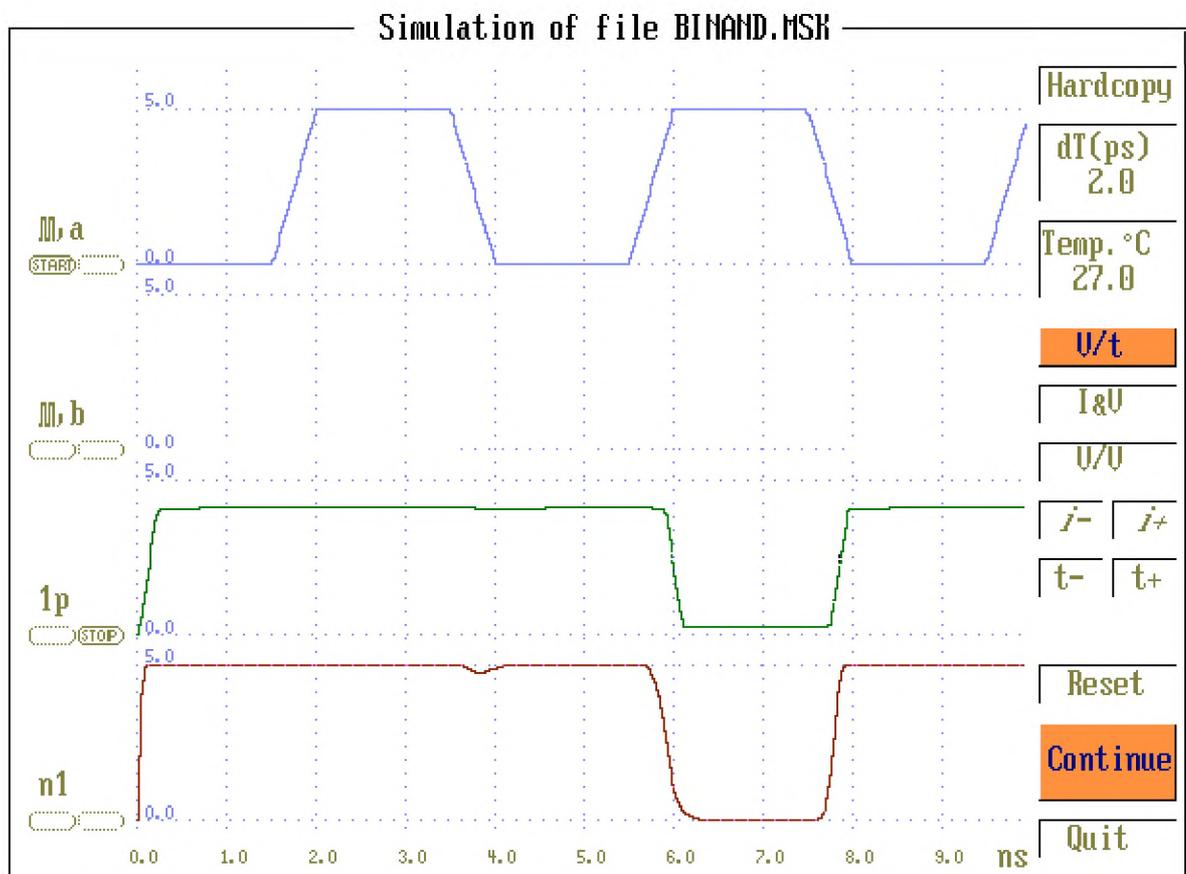


Рис. 89. Результат моделирования БиКМОП элемента И-НЕ (файл BiNAND.MSK).

### Контактная площадка вход – выход

Размер контактной площадки составляет 100x100 мкм. Контактная площадка представляет собой сэндвич из metal2, via и metal1 слоев. Используйте опцию моделирования для проверки того, что пассивирующий окисел снят с контактной площадки, так что соединение из золота может быть наложена на него.

Контактная площадка вход – выход содержит один слой из поликремниевого резистора и два защитных диода. Выходная часть содержит цепочку инверторов. Последняя часть представляет собой инвертор с тремя состояниями, так что буферную область можно удалить.

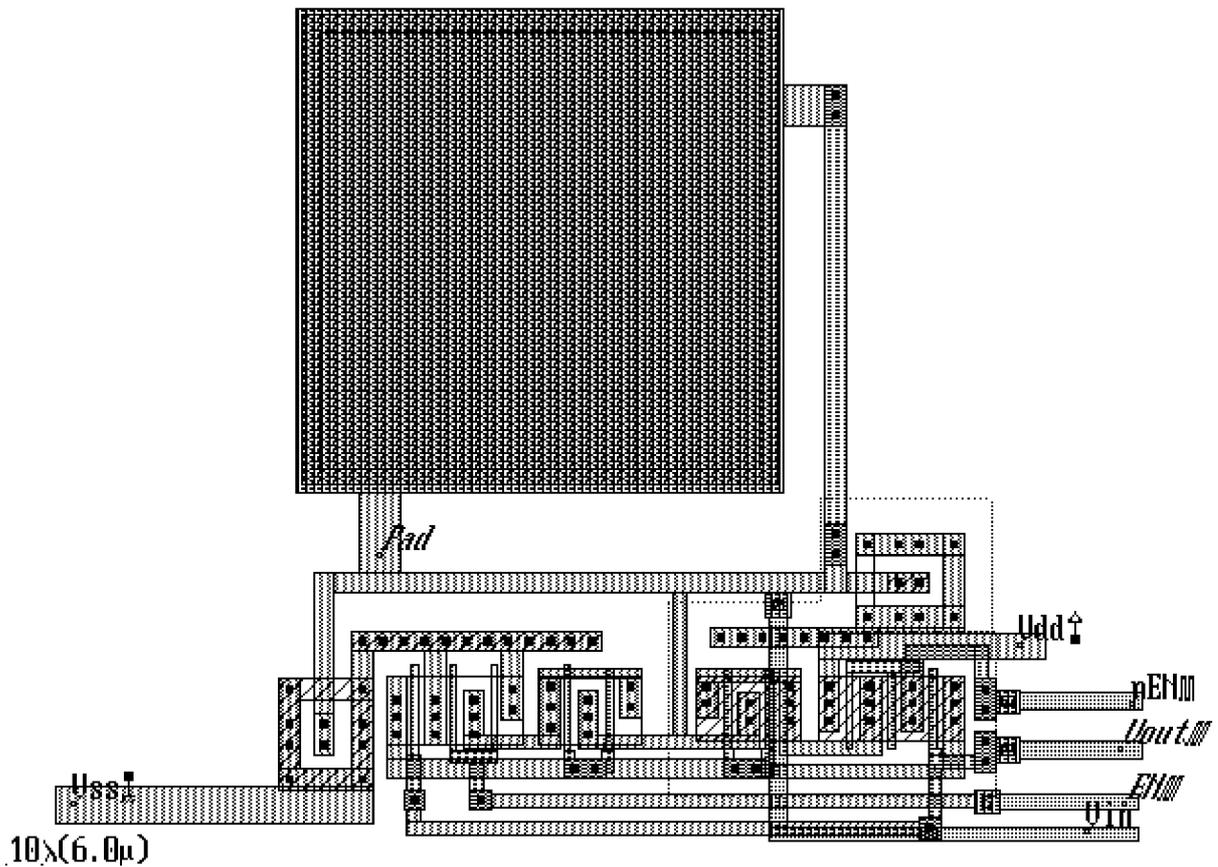
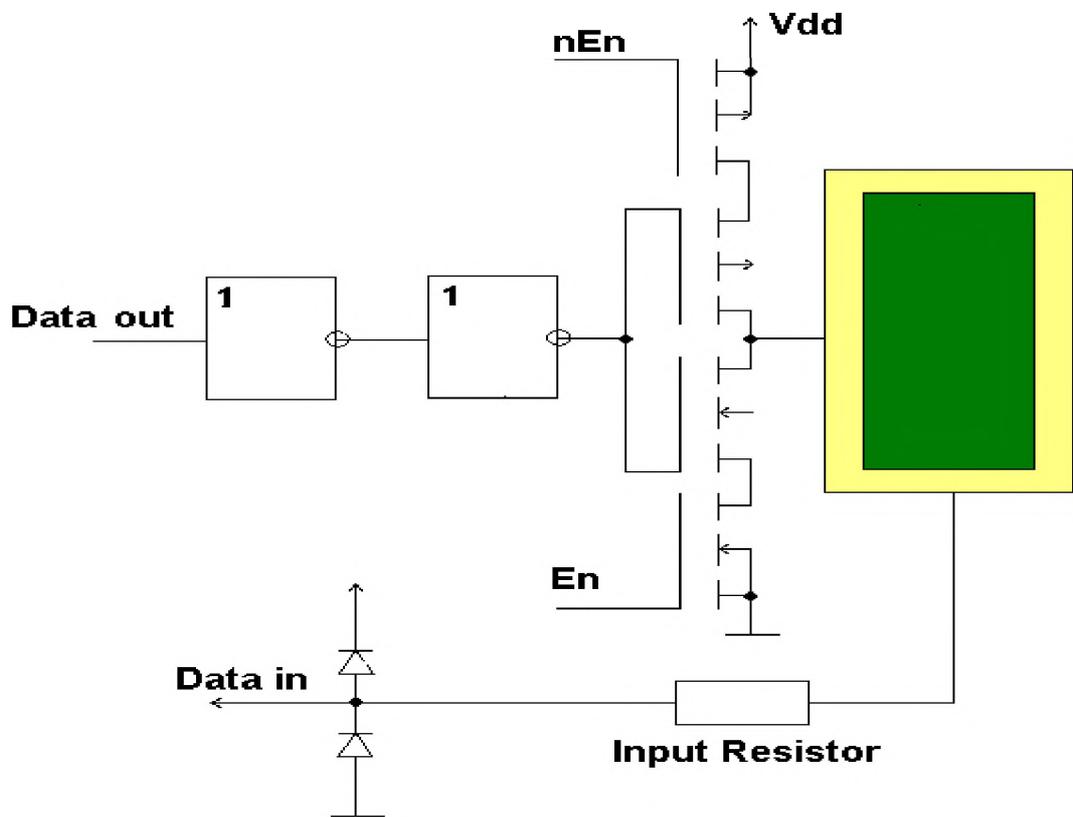
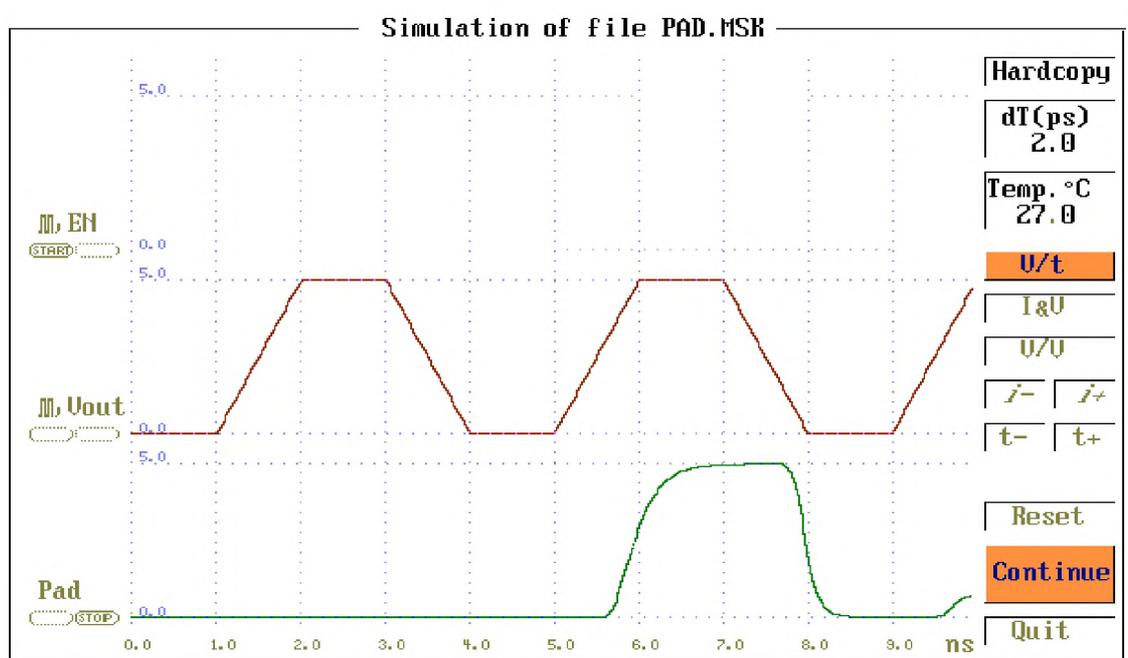


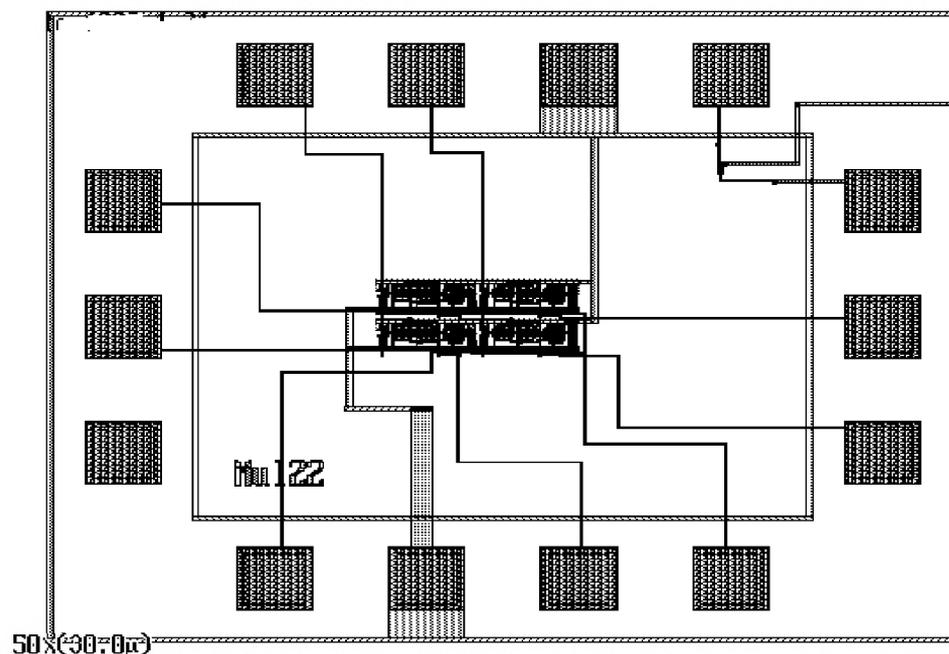
Рис. 90, а. Схема и топология контактной площадки вход – выход (файл AD.MSK)



**Рис. 90, б.** Результат моделирования контактной площадки вход – выход (файл PAD.MSK)

### Кольцо из контактных площадок

Нажмите иконку **Cell Library** (Библиотека ячеек) и нажмите **Chip** (Чип). Ответьте на два вопроса относительно контактной площадки X и контактной площадки Y и просмотрите результат. Ряд контактных площадок добавляется в схему. VSS контактная площадка располагается внизу, а VDD контактная площадка – сверху с соответствующими power кольцами. Пример схемы с контактными площадками вход – выход и соединениями показан на рис. 91.



**Рис. 91.** Контактные площадки, добавленные к схеме умножителя (файл CHIP1.MSK)

Нажмите опять на иконку **Cell Library** и выберите упаковку **DIP16**. При этом к чипу добавится Dual – In – Pin корпус с 16-ю выводами (рис.92). Расстояние между двумя выводами равно 2.54 мм. Схему необходимо переместить в центр корпуса, используя иконку **Move**. Выберите эту иконку, создайте область, которая включает весь чип. Чип сотрется и появится окаймленная область. Сдвиньте ее в подходящее место и нажмите кнопку мыши.

Можно также добавить корпус, используя иконку **Box**. В большом масштабе использование этой иконки приводит к образованию белых линий, которые воспроизводят границу между выводом корпуса и чипом. Другими возможными способами корпусирования могут быть **DIP28** и **QFP44 (Quad Flat Pack 44 pins)**. Расстояние между выводами для **QFP** меньше, чем для **DIP**.

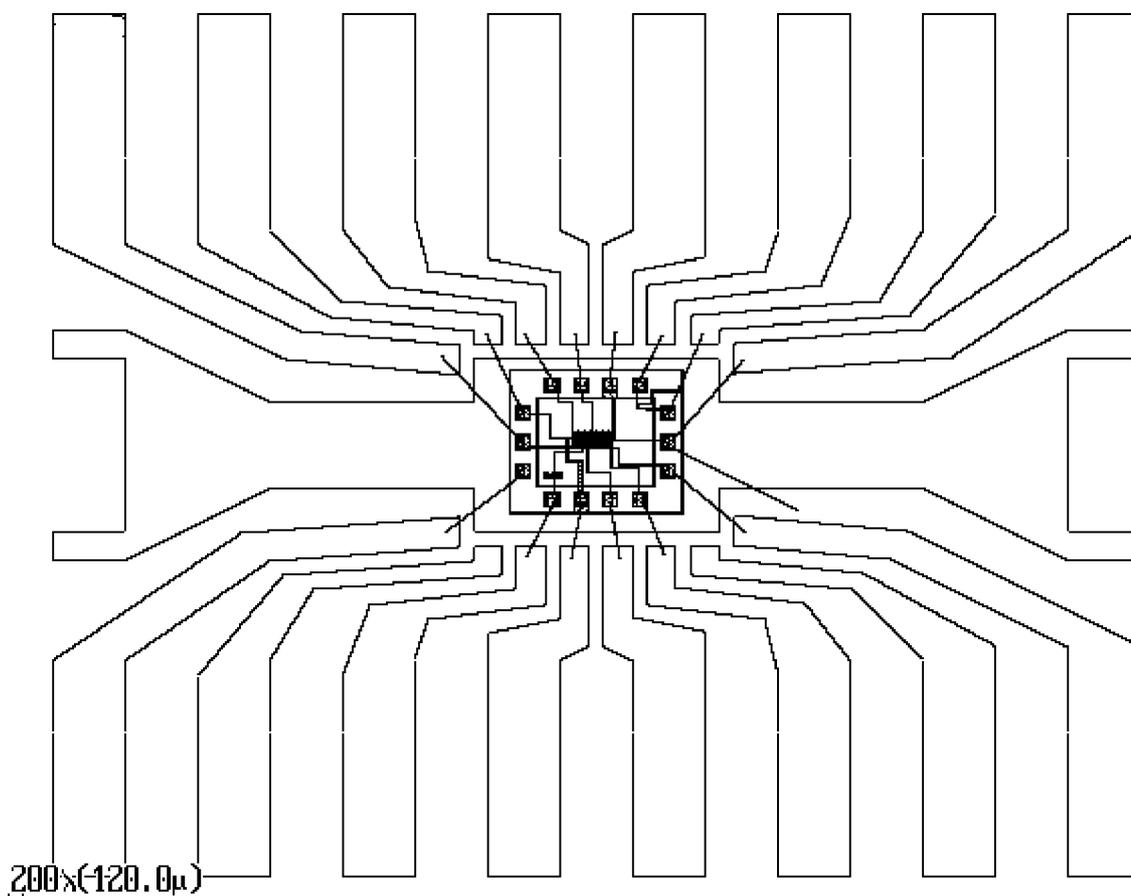


Рис. 92. **DIP16** корпус и соединение, добавленное к чипу (файл **CHIP2.MSK**)

## 8. Правила проектирования

### **BiCMOS (БиКМОП) и CMOS (КМОП) технологии**

Список слоев для CMOS (КМОП) технологии “Двойная металлизация, р-подложка, n-карман” представлен ниже.

## КМОП ПРОЦЕСС

	Код	Имя слоя	Цвет
	M2	Металл 2	Голубая заливка
	V1	Переходной	Белая заливка
	ME	Металл 1	Голубой прямоугольник
	PO	Поликремний	Красный прямоугольник
	CO	Контакт	Белый прямоугольник
	DN	n+Дифф. область	Зеленый прямоугольник
	DP	p+Дифф. область	Зеленая заливка
	NW	N-карман	Зеленый
	PA	Пассивация	Белый

БиКМОП процесс предполагает новый слой под именем Base-P (BP), который представляет P<sup>+</sup> базу NPN транзистора. Все другие слои такие же, как и для КМОП процесса.

## БиКМОП ПРОЦЕСС

	Код	Имя слоя	Цвет
	BP	P-база	Красная заливка

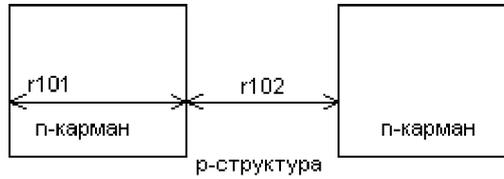
## Правила проектирования ES2, AMS, JESSI и ABB HAFFO технологий

Данное программное обеспечение может оперировать различными технологиями. Параметры процессов содержатся в файлах с расширением “.RUL”. По умолчанию этот файл имеет имя ECPD10.RUL. Технология по умолчанию соответствует ES2 2-metal 1.0 мкм CMOS процессу. Список имеющихся технологических файлов представлен ниже. Технологический файл можно изменить в программах PROF (основное меню) и MSK (**File** → **Foundry**).

Список технологий, обрабатываемых программой MSK

<u>Имя файла (.RUL)</u>	<u>Технология</u>
ES212	ES2 1.2 мкм CMOS (КМОП) технология
ES210	ES2 1.0 мкм CMOS (КМОП) технология
ES208	ES2 0.8 мкм CMOS (КМОП) технология
AMS12	AMS 1.2 мкм BiCMOS (БиКМОП) техн-ия
JESSI05	JESSI 0.5 мкм CMOS (КМОП) технология
AFFO12	ABB HAFFO 2 мкм CMOS (КМОП) техн-я

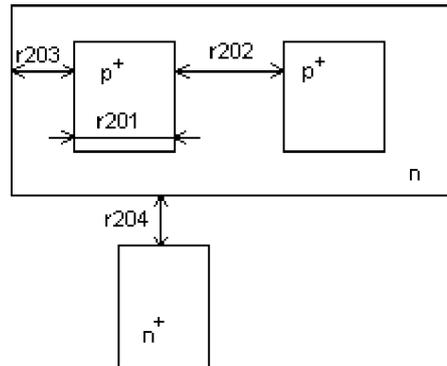
**N – Карман**



r101  
r102

Минимальный размер кармана  $12\lambda$ .  
Расстояние между карманами  $12\lambda$ .

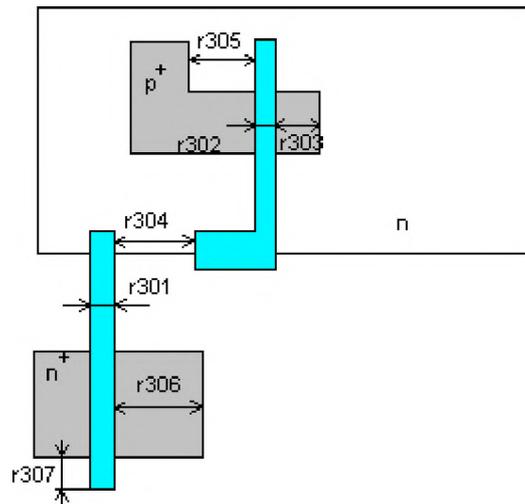
### Диффузионные области



r201  
r202  
r203  
r204

Минимальный размер диффузионной области  $4\lambda$ .  
Расстояние между двумя диффуз. областями  $4\lambda$ .  
Расширение кармана после диффузии  $6\lambda$ .  
Расстояние между диффуз. областью и карманом  $6\lambda$ .

### Поликремниевая область



r301  
r302  
r303  
r304  
r305  
r306  
r307

Ширина поликремния  $2\lambda$ .  
Поликремниевый затвор на диффуз.  $n^+$  области  $2\lambda$ .  
Поликремниевый затвор на диффуз.  $p^+$  области  $2\lambda$ .  
Расстояние между поликремниевыми областями  $3\lambda$ .  
Расст-е между поли- и другими дифф. областями  $2\lambda$ .  
Диффузионная область за поликремнием  $4\lambda$ .

r307

Поликремниевая область после диффузии  $2\lambda$ .

### Контакты

r401

Ширина контакта  $2\lambda$ .

r402

Расстояние между двумя контактами  $3\lambda$ .

r403

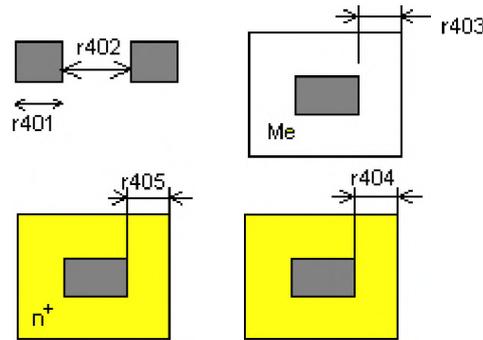
Ширина металла вне контакта  $2\lambda$ .

r404

Ширина поликремния вне контакта  $2\lambda$ .

r405

Ширина диффузионной области вне контакта  $2\lambda$ .



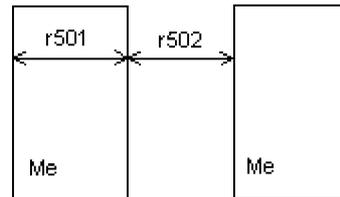
### Металл 1

r501

Ширина металла  $3\lambda$ .

r502

Расстояние между двумя металлами  $3\lambda$ .



### Via (переходной слой)

r601

Ширина **Via**  $3\lambda$ .

r602

Расстояние между двумя **Via**  $3\lambda$ .

r603

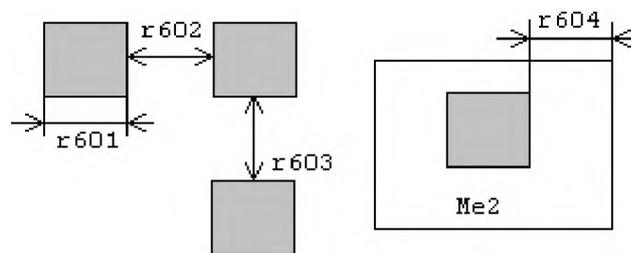
Расстояние между **Via** и контактом  $3\lambda$ .

r604

Расстояние до внешнего металла над **Via**  $2\lambda$ .

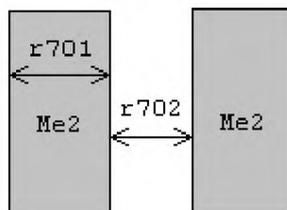
r605

Расстояние до внешнего металла 2 над **Via**  $2\lambda$ .



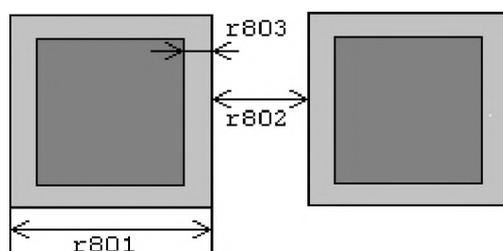
## Металл 2

- r701 Ширина металла  $5\lambda$ .  
r702 Расстояние между двумя металлами  $5\lambda$ .



## Pads (контактные площадки) (1.0 мкм технология)

- r801 Ширина контактной площадки  $200\lambda$ .  
r802 Расстояние между контактными площадками  $200\lambda$ .  
r803 Открытие окна в пассивации через металл 2  $15\lambda$ .  
r804 Расстояние между контактной площадкой и активной областью  $50\lambda$ .



## Паразитные емкости

Каждый осажденный слой отделяется от подложки окислом, что приводит к паразитным емкостям в единицах  $\text{aF}/\mu\text{m}^2$  ( $\text{atto}=10^{-18}$ ). Поликремний, металл и металл 2 также создают паразитные емкости. Диффузионные слои создают паразитные емкости на p-n переходах (N=P-, P+/N). Список паразитных емкостей, обрабатываемых в программе **MSK**, приведем ниже.

Металл на толстом окисле  $28 \text{ aF}/\mu\text{m}^2$   
Металл 2 на толстом окисле 17  
Металл 2 на металле 45  
Дифф. n в p-кармане 420  
Поликремниевый затвор 1500  
Лин. дифф. p 260 ( $\text{aF}/\mu\text{m}$ )

Металл на поликремнии 50  
Металл 2 на поликремнии 25  
PolySi на PolySi 25  
в p-кармане 350  
PolySi на толстом окисле 60  
Лин. дифф. n 310 ( $\text{aF}/\mu\text{m}$ )

## ES2 1.2 мкм технология

ES2 CMOS 1.2 мкм

Файл: ES212.RUL

<u>Параметр</u>	<u>Значение</u>	<u>Описание</u>
$\lambda$	0.7 мкм	Единичный шаг
Vdd	5.0 V	Напряжение питания
Kp	30e-6	$\mu\epsilon\theta\epsilon r/tox$ для pМОП прибора
Vtp	-1.0 V	Пороговое напряж-е pМОП прибора
Kn	80.0 e-6	$\mu\epsilon\theta\epsilon r/tox$ nМОП прибора
Vtn	0.75 V	Пороговое напряж-е nМОП прибора

### **ES2 1.0 мкм технология**

ES2 CMOS 1.0 мкм

Файл: ES210.RUL

<u>Параметр</u>	<u>Значение</u>	<u>Описание</u>
$\lambda$	0.5 мкм	Единичный шаг
Vdd	5.0 V	Напряжение питания
Kp	39e-6	$\mu\epsilon\theta\epsilon r/tox$ для pМОП прибора
Vtp	-1.1 V	Пороговое напряж-е pМОП прибора
Kn	112.0 e-6	$\mu\epsilon\theta\epsilon r/tox$ nМОП прибора
Vtn	0.8 V	Пороговое напряж-е nМОП прибора

### **ES2 0.8 мкм технология**

ES2 CMOS 0.8 мкм

Файл: ES208.RUL

<u>Параметр</u>	<u>Значение</u>	<u>Описание</u>
$\lambda$	0.4 мкм	Единичный шаг
Vdd	5.0 V	Напряжение питания
Kp	47e-6	$\mu\epsilon\theta\epsilon r/tox$ для pМОП прибора
Vtp	-1.0 V	Пороговое напряж-е pМОП прибора
Kn	135.0 e-6	$\mu\epsilon\theta\epsilon r/tox$ nМОП прибора
Vtn	0.8 V	Пороговое напряж-е nМОП прибора

### **Параметры АВВ НАFFO технологии**

АВВ НАFFO CMOS 1.2 мкм с низким питанием

Файл: AFFO12.RUL

<u>Параметр</u>	<u>Значение</u>	<u>Описание</u>
$\lambda$	0.6 мкм	Единичный шаг
Vdd	1.5 V	Напряжение питания
Kp	37e-6	$\mu\epsilon\theta\epsilon r/tox$ для pМОП прибора
Vtp	-0.7 V	Пороговое напряж-е pМОП прибора
Kn	84.0 e-6	$\mu\epsilon\theta\epsilon r/tox$ nМОП прибора
Vtn	0.6 V	Пороговое напряж-е nМОП прибора

## Параметры AMS BiCMOS технологии

AMS BiCMOS 1.2 мкм

Файл: AMS12.RUL

<u>Параметр</u>	<u>Значение</u>	<u>Описание</u>
$\lambda$	0.6 мкм	Единичный шаг
Vdd	5.0 V	Напряжение питания
Kp	50e-6	$\mu\epsilon\theta\epsilon\tau/\text{tox}$ для pМОП прибора
Vtp	-0.75 V	Пороговое напряж-е pМОП прибора
Kn	110.0 e-6	$\mu\epsilon\theta\epsilon\tau/\text{tox}$ nМОП прибора
Vtn	0.67 V	Пороговое напряж-е nМОП прибора
$\beta$	120	Beta NPN прибора
Early	35 V	Напряжение Эрли NPN прибора

## Параметры JESSI технологии

JESSI CMOS 0.5 мкм

Файл: JESSI05.RUL

<u>Параметр</u>	<u>Значение</u>	<u>Описание</u>
$\lambda$	0.25 мкм	Единичный шаг
Vdd	3.0 V	Напряжение питания
Kp	70e-6	$\mu\epsilon\theta\epsilon\tau/\text{tox}$ для pМОП прибора
Vtp	-0.65 V	Пороговое напряж-е pМОП прибора
Kn	160.0 e-6	$\mu\epsilon\theta\epsilon\tau/\text{tox}$ nМОП прибора
Vtn	0.5 V	Пороговое напряж-е nМОП прибора

## Файл правила проектирования

Ниже приведен пример файл правила проектирования ES212.RUL (ES 1,2 мкм технология). Первая строка - наименование технологии. Вторая строка определяет процесс и может относиться к n- или к p-карману. В третьей строке приводится значение  $\lambda$ . Для 1.2 мкм технологии  $\lambda = 0.6$  мкм. Последующие строки описывают правила проектирования для каждого уровня технологии.

ES2 1.2 мкм CMOS 2 metal

0.6	(lambda = 0.6 мкм)
10 10	(r101,r102 in lambda)
4 4 6 6	(r201, r202, r203, r204)
2 2 2 3 2 4 2	(r301, r302, r303, r304, r305, r306, r307)
2 3 2 2 2	(r401, r402, r403, r404, r405)
3 3	(r502, r502)
3 3 3 2	(r601, r602, r603, r604)
3 3 2	(r701, r702, r703)

170 170 10 50	(r801, r802, r803, r804)
1400 50 28	(CPolyOxyde, CpolyBody, CmetalBody в fF/мкм2 E-6)
50 13 22	(Cmetal Poly, Cmetal2Body, Cmetal2Poly)
45 420 350	(Cmetal2Metal, CdiffnDiffp, CdiffpDiffn)
310 260	(ClinDiffN, ClinDiffP in fF/мкм E-6)
0.0 5.0	(Vss, Vdd in Volt)
85e-6 0.75	(Kn= $\mu$ neOer/Tox in A/V2, Vtn in Volt)
0,1 0,1 0,1	(Ldn, Thetan, Gamman)
0,70 0.05 130e3	(Phin, kappan, vmaxn)
31e-6 -1.10	(Kp= $\mu$ peOer/Tox in A/V2, Vtp in Volt)
0.1 0.1 0. 1	(Ldp, Thetap, Gammap)
0.70 0.05 100e3	(Phip, kappap, vmaxp)
8e-12	(Minimum simulation interval dT=8ps)
27	(temperature)

## 9. Работа программы и команды

### Запуск программы

Для запуска программ PROF, 3D или MSK следует проделать следующие действия:

Наберите **prof** и нажмите **ENTER**, чтобы запустить программу PROF.

Наберите **3D** <имя файла> и нажмите **ENTER**, чтобы запустить программу 3D.

Наберите **msk** и нажмите **ENTER**, чтобы запустить программу MSK.

Программное обеспечение требует VGA монитор, IBM или HP принтер и Microsoft совместимую мышь.

### Вывод на принтер

Для вывода на принтер используется программа PLOT.EXE. Например, с помощью команды PLOT ADC будет выведена на принтер топология, находящаяся в файле ADC.MSK.

Для вывода на HP принтер используется программа PLOT2.EXE. Например, с помощью команды PLOT2 ADC будет выведена на HP принтер топология, находящаяся в файле ADC.MSK.

### CIF конвертор

Программа MSK2CIF.EXE транслирует MSK файл в CIF формат. Например, команда MSK2CIF транслирует файл INV.MSK в файл INV.CIF, в котором содержится описание инвертора в CIF формате. CIF файл можно импортировать в различные программы: CADENCE, MENTOR, ZUKEN, REDAC и др.

## Список команд

### Cut (вырезать)



Нажмите иконку **Cut**. Установите курсор в окно проектирования и ограничьте активную область с помощью мыши. Все графики, включенные в эту область, будут удалены. Нажмите **Undo**, чтобы вставить эти элементы обратно в проект.

Слой защищен от стирания, если его отметить на палитре дважды. Пустой квадратик слева от слоя указывает, что слой защищен от стирания.

Слой незащищен от стирания, если его снова отметить на палитре. Заполненный квадратик слева от слоя указывает, что слой не защищен от стирания.

Только один прямоугольник можно стереть путем нажатия курсора внутри него.

См. команду **Move** для перемещения одного или группы прямоугольников.

См. команду **Stretch** для растягивания прямоугольника.

### Compiler (компилятор)

Компилятор ячеек – сложный инструмент, предназначенный для автоматического создания КМОП ячеек из их логического описания. Нажмите **Compile** в главном меню. Появится новое меню. Нажмите **Equation**. Наберите с помощью клавиатуры уравнение  $s=a.b$ . Нажмите **OK**. Будет компилироваться ячейка AND (И) и генерироваться соответствующая топология. В следующей таблице приведены примеры уравнений для различных ячеек.

#### СИНТАКСИС КОМПИЛЯТОРА

<u>ЯЧЕЙКА</u>	<u>ФОРМУЛА</u>
Инвертор	$out=/in$
Вентиль NAND (НЕ-И)	$n=/(a.b)$
Вентиль AND (И)	$s=(a.b)$
OR (ИЛИ) с тремя входами	$s=a.b+c$
NAND (НЕ-И) с тремя входами	$out=/(a.b.c)$
Вентиль AND-OR (И-ИЛИ)	$cgate=a.9b+c)$
Ячейка CARRY (Перенос)	$cout=(a.b)+(cin.9a=b))$

**РАЗМЕР ТРАНЗИСТОРА.** По умолчанию размер прибора задается согласно правилам проектирования. Ширину nМОП и рМОП приборов можно изменить в меню опций перед нажатием **OK**.

### Design Rule Checker (Выбор правила проектирования)



Программа проверки правил проектирования (DRC) сканирует все проекты и проводит проверку на соответствие всех правил проектирования. Ошибки представляются на экране монитора.

### **Draw a box (Рисование прямоугольников)**



Нажмите на эту иконку, установите курсор на экран дисплея, установите начальный угол прямоугольника посредством нажатия кнопки мыши. Удерживайте кнопку мыши нажатой и переместите курсор в противоположный угол прямоугольника. Отпустите кнопку мыши и посмотрите, какой открывается прямоугольник. Активный слой открывается в палитре. Отметьте птичкой активный слой.

### **Foundry (Технологический процесс)**

Нажмите **File Foundry**. Появится список обрабатываемых технологических процессов. По умолчанию будет представлен файл правила проектирования. Возможны для обработки технологии ES 0.8 мкм, 1.0 мкм и 1.2 мкм, AMS 1.2 мкм ViCMOC и ABB AFFO 1.2 мкм. Нажмите иконку **Foundry** и программа сама адаптируется к новому технологическому процессу.

### **Hardcopy (Выдача результатов на принтер)**

Нажмите **Hardcopy** для выдачи графического содержания экрана на принтер (IBM или HP(по умолчанию)). Нажмите **File Options** для входа в меню выбора принтера.

Для включения монохромного режима нажмите **m**. Экран будет черно-белым. Затем нажмите **h** для получения результата на принтере. Если процесс выдачи на принтер окажется неправильным, нажмите **File Msk Options** и измените драйвер.

Если необходимо выдать на принтер временные диаграммы моделирования, следует включить монохромный режим *перед началом моделирования* в меню редактора посредством нажатия клавиши **m**. Нажмите **m** в меню редактора. Включите режим моделирования (simulator), нажмите команду **HardCopy**. Выйдите из режима Simulator и опять нажмите **m**. Экран возвратится в цветной режим.

### **Cell Library (Библиотека ячеек)**



Библиотека ячеек содержит набор таких топологий, как контакты, приборы и контактные площадки. Эти ячейки строятся согласно правилам проектирования и содержат размерные параметры.

**КОНТАКТЫ.** Возможно задание контактов поликремний/ металл, р-диффузионная область/ металл и металл/металл 2. Нажмите на одну из этих иконок, и результат представится на экране монитора. Затем нажмите клавишу мыши, чтобы зафиксировать соответствующее место контакта.

**ТРАНЗИСТОРЫ.** Эти макрокоманды генерируют р-канальный или NPN транзистор. Параметрами ячейки являются длина канала (по умолчанию эта величина задается в правилах проектирования), ширина канала и количество вентиляей.

**СНІР (ЧИП).** Можно ввести определенное количество контактных площадок для анализируемой схемы. Контактные площадки рисуются вокруг прямоугольника топологии с назначением Vdd и Vss. Размер контактной площадки не зависит от технологии. Ее минимальный размер составляет 100 мкм с расстоянием между контактными площадками 100 мкм.

**КОРПУСИРОВАНИЕ.** Для корпусирования топологии можно использовать Dual- In –Pin 16 leads, Dual-In Pin 28 leads или Quad-Flat-Pack 44 leads. Далее используйте иконку **Box** для получения рисунка связи между чипом и корпусом. Соединения осуществляются следующим образом:

1. Выберите иконку рисования.
2. Выберите соответствующую упаковку. На экране появляется упаковка. Топология чипа устанавливается в середине граничной области в центре упаковки.
3. При увеличенном масштабе (шаг сетки > 100) иконка **Box** заменяется на иконку **Line**. Такая процедура используется для рисования линий, которые воспроизводят соединения из золотых проводников. Чип соединяется вручную с упаковкой.

**ТЕКСТ.** Можно добавить определенный текст к текущему слою, используя фонты программы MSK.

### **MOS Characteristics (ВАХи МОП прибора)**



Нажмите приведенную выше иконку, затем нажмите внутри вентиля исследуемого МОП прибора. Появится зависимость  $I_d/V_d$ . Можно пропустить режим  $I_d/V_d$ , чтобы просмотреть пороговое напряжение (см. ниже), или характеристику  $I_d(\log)/V_g$  для исследования поведения порогового напряжения.

### **Move a box (сдвиг прямоугольника)**



Для смещения прямоугольника нажмите **Resize Icon**. Затем нажмите внутри прямоугольника. Переместите курсор в новое положение и отпустите

клавишу мыши. Чтобы увеличить размер прямоугольника нажмите на его край, передвиньте курсор мыши в конечную точку и отпустите клавишу мыши. Прямоугольник изменит размер, и его размер в мкм появится в диалоговом прямоугольнике в правом углу экрана.

### **File new**

Нажмите **File** в главном меню. Нажмите **New**, чтобы запустить программу с пустого экрана. Текущий проект будет сохранен перед выполнением этой программы, а графическая информация будет физически удалена из памяти компьютера.

### **Node (узел)**

Дважды нажмите на выделенный прямоугольник или нажмите **View Node**, чтобы просмотреть все прямоугольники, соединенные с данным узлом. При выполнении этой команды будет проведена экстракция всей топологии. На экран выводятся (в выделенных прямоугольниках) также сведения о паразитных емкостях и текстовая информация.

По команде **View Connection** (или **n** при использовании клавиатуры) производится электрическая экстракция прямоугольников, присоединенных к необходимой точке. По сравнению с предыдущей командой **View Node** рассматриваются только слои металл, металл2 и поликремний. Эта команда не связана с ограничением по памяти и обработка будет проводиться быстро даже для больших схем. Диффузионные слои также не учитываются при использовании команды **View Connection**.

Нажмите **Escape** для отмены выбора слоя.

### **Palette (Палитра)**

Палитра располагается в нижнем правом углу экрана. Птичка указывает текущий слой. При использовании правой кнопки мыши или нажатии дважды левой кнопки мыши слой изменяется на режим защиты. Если далее нажать левую кнопку мыши, слой выйдет из режима защиты.

#### ПАЛИТРА ДЛЯ КМОП ПРОЦЕССА

<u>ОБОЗНАЧЕНИЕ</u>	<u>НАИМЕНОВАНИЕ</u>	<u>ЦВЕТ</u>
NW	N-карман	Зеленый квадрат
DN	n+ дифф. область	Зеленый прямоугольник
DP	p+ дифф. область	Зеленая заливка
CO	Контакт	Белый прямоугольник
PO	Поликремний	Красный прямоугольник
ME	Металл 1	Голубой прямоугольник
VI	Переходный слой	Белая заливка

M2	Металл 2	Голубая заливка
PA	Пассивация	Белый
BP	База P	Красная заливка

### Изображение процесса



Нажмите на эту иконку, чтобы запустить моделирование процесса изготовления. Появится вид сечения прибора. Например, для n-канального МОП прибора появляются три узла при рисовании: затвор, левая диффузионная область (исток) и правая диффузионная область (сток). Масштаб в микронах указывается в верхней части экрана. Рис. внизу показывает вертикальное сечение КМОП инвертора. С помощью стрелочек можно сдвигать сечение вправо, влево, вверх или вниз.

### Pspice файл

Нажмите **File Pspice File**, чтобы оттранслировать проект в PSPICE совместимое описание. Экстрактор схемы, имеющийся в программе MSK, сгенерирует эквивалентную схему топологии и далее можно промоделировать эту схему в режиме расчета переходных процессов.

В левой части окна представлен список n- и p-канальных транзисторов с указанием около каждого прибора его ширины и длины. В правой части экрана приводится содержание .CIR файла, созданного при экстракции. В следующем файле приводятся сведения об именах узлов, паразитных емкостях, список приборов и модели МОП и биполярных приборов.

Имя PSPICE файла соответствует текущему имени с расширением .CIR.

### Выход

Нажмите на **Quit** главного меню. Если проект завершен или же изменены данные, можно их сохранить. После подтверждения произойдет выход в DOS.

### Считывание

Нажмите **File Read** в главном меню. Появится список файлов с описанием топологии. Нажмите на соответствующее имя файла, чтобы загрузить его в выбранное накопительное устройство A, B, C или D.

### Вращение и переворачивание

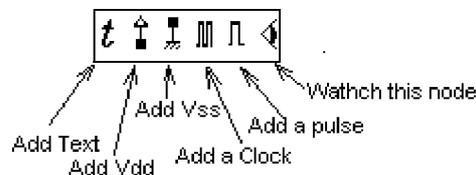


Для вращения или переворачивания какой-то части проекта, нажмите на эту иконку и выделите активную область с помощью мыши. Выберите нужную операцию вращения в подменю. Можно осуществить вращение на  $90^0$ ,  $-90^0$  или же произвести горизонтальное или вертикальное переворачивание.

### Сохранение и выход

Нажмите **File Write** в главном меню. Появится новое окно, в которое можно ввести имя проекта. Напечатайте **TEST** и затем нажмите **ENTER**. После подтверждения проект сохранится под именем **TEST.MSK**. Нажмите **QUIT** в главном меню для возврата в **DOS**.

### Иконки моделирования



Иконки моделирования добавляют характеристики узлам. Свойства присваиваются электрическим узлам схемы, необходимые при моделировании. Следует присвоить определенным узлам необходимые напряжения перед проведением аналогового моделирования. Возможные свойства: **Text, Vdd, Vss, Clock, Pulse** и **Visible**.

**TEXT.** Используйте эту команду для введения текста в прямоугольник или в любое место проекта. Текст иллюстрирует топологию и его следует использовать при определении каждого узла в качестве входов и выходов. После ввода текста нажмите **ENTER**.

**Vdd & Vss.** Узлу источника питания назначается напряжение питания (обычно 5 V) с помощью иконки **Vdd** и назначается напряжение “земли” 0 V с помощью иконки **Vss**. Любому узлу с именем **Vdd** назначается напряжение 5 V, а любому узлу с именем **Vss** назначается напряжение 0 V.

**CLOCK.** На узел подается сигнал. Период сигнала состоит из времени нарастания, уровня 1, времени спада и уровня 0. Все значения времени измеряются в ns. Если назначается второй сигнал, то частота удваивается. Можно изменять уровни 0 и 1, используя курсоры напряжения, расположенные с левой стороны, чтобы генерировать аналоговые импульсы. Чтобы задать сигнал, начинающийся с 5 V, инвертируйте значения уровней 0 и 1. Используйте **clock x 2**, чтобы удвоить период сигнала. Используйте **clock / 2**, чтобы уменьшить период сигнала в два раза.

**IMPULSE.** После задания **IMPULSE** появляется положительный импульс. После задания другого импульса начальная задержка

увеличивается. Отрицательный импульс задается посредством инвертирования значений напряжений уровней 1 и 0.

**VISIBLE NODE.** Нажмите иконку, расположенную справа, и нажмите в любом месте топологии, чтобы задать вывод временной диаграммы для узла. Вначале все узлы будут невидимы, но будут сигналы и импульсы узлов.

## Меню моделирования

Меню моделирования содержит список кнопок для задания параметров моделирования.

**HARDCOPY.** Нажмите Hardcopy для вывода временных диаграмм на принтере. Перед этим включите монохромный режим (необходимо выйти из режима **Simulator** и нажать **m** в меню редактора). Вернитесь в **Simulator**, нажмите **m**, чтобы возвратиться в цветной режим.

**$\Delta t = 4 \text{ pS}$ .** Можно изменить минимальный шаг моделирования  $\Delta t$ , но это может быть опасно из-за накопления большой численной ошибки при моделировании (ошибка RUN TIME).

**TIME SCALE.** Временной масштаб (time scale) можно изменить с помощью кнопок **t+** или **t-**.

**CURRENT SCALE.** Используйте кнопки **i+** или **i-** для изменения текущего масштаба (current scale). Это возможно только в режиме I&V.

**V/t.** Нажмите V/t для проведения анализа переходных процессов для всех видимых сигналов. Задержка между выделенными начальным и конечным узлами рассчитывается при  $V_{dd}/2$ . Можно изменить выделенный начальный узел, используя мышь, указав место под именем узла в левой части экрана. Те же действия можно проделать и для конечного узла.

**I&V.** Нажмите I&V, чтобы задать токи и напряжения. Все графики напряжений представляются в нижнем окне. Текущее значение  $V_{dd}$  и узел, назначенный в качестве начального, показаны в верхней части окна.

**V/V.** Нажмите V/V для получения передаточных характеристик между выбранным начальным узлом (ось X) и выбранным конечным узлом (ось Y). Вначале первый сигнал или импульс подается на начальный узел, а конечный узел будет первым из меняющихся узлов. Можно изменить выбранный начальный узел (ось X), используя мышь, указав место под именем узла в левой части экрана. Начальная птичка сдвигается вниз относительно выбранного имени узла. Те же действия можно проделать и для конечного узла (ось Y).

Режим V/V полезен для расчета характеристик инвертора при исследовании точки коммутации, для операционного усилителя с целью получения DC характеристики и изучения усиления, а также для триггера Шмитта при изучении явления гистерезиса.

При первом нажатии на V/V рассчитывается значение напряжения на конечном узле при изменении напряжения на стартовом узле от 0 до

Vdd. При втором нажатии на  $V/V$  рассчитывается та же характеристика при изменении напряжения на стартовом узле от Vdd до 0.

**RESET.** Возобновление моделирования.

**CONTINUE.** Нажмите на **CONTINUE** для проведения дальнейшего моделирования.

**QUIT.** Возвращение в редактор.

**ESC.** Выход из режима моделирования.

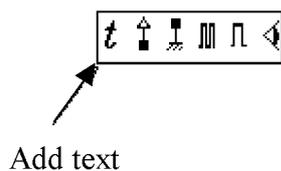
## Stretch



Для увеличения размера прямоугольника нажмите **Resize Icon**. Нажмите на угол прямоугольника. “Протащите” курсор с помощью мыши в новое положение и отпустите кнопку мыши. Размер прямоугольника изменится.

## Text

Имеется возможность добавить текст в любое место проекта. Текст автоматически будет присвоен узлу, около которого будет написан текст. Для добавления текста в любое место проекта необходимо проделать следующие действия:



Нажмите на **t** в левой части иконок моделирования (или наберите **t** на клавиатуре). Отметьте с помощью мыши место, куда необходимо ввести текст. Появится диалоговое окно. Введите текст и нажмите **ENTER**. Текст зафиксирован на рисунке.

Можно использовать клавишу “**t**” на клавиатуре и ввести текст в топологию. Текст можно изменить следующим образом: нажмите курсор мыши внутри текста и затем “**t**” на клавиатуре. Появится “старый” текст. Измените его и нажмите **ENTER**. Новый текст зафиксирован на рисунке.

Если ввести число, например, 2.5, то программа моделирования будет считать этот узел как источник напряжения с номиналом 2.5 В. Этот прием используется при проектировании АЦП и ЦАП.

## Undo

Этот режим нельзя использовать для последней редактирующей команды. Режим Undo используется для команд Cut, Paste, Copy, Move, Stretch, Edit и Compile.

## View

**ALL** На экране представляется вся топология. Можно использовать также иконки Zoom-In и Zoom-Out для отображения части топологии. Можно также использовать также клавиши "f" или "v" на клавиатуре.

**NODE** Выводится информация об узле, отмеченном курсором. Полная электрическая экстракция осуществляется до прорисовки электрического узла. Все части топологии с одинаковым потенциалом выводятся на экран в цвете, а все другие части топологии показываются просто в виде прямоугольников.

Чтобы снять выделение топологии, нажмите ESCAPE.

**CONNECTION** Выводится картинка с топологией, как и в режимах **ALL** и **Node**, но электрическая экстракция не производится, а электрические соединения рассчитываются только для слоев Металл 1, Металл 2 и поликремний.

Чтобы снять выделение топологии, нажмите ESCAPE.

## Wire (проводники)

### F4...F9

Можно создать соединение, используя слои поли-Si/металл или металл2/металл.

<b>F4</b>	Контакт поли-Si/металл
<b>F5</b>	Контакт металл/металл2
<b>F6</b>	Проводник от начальной точки до положения курсора в поли-Si
<b>F7</b>	Проводник - металл
<b>F8</b>	Проводник - металл2
<b>F9</b>	Назначить размер проводника

## Zoom In & Zoom Out



При использовании иконки **Zoom In** осуществляется увеличение объекта, отмеченного мышью, до размера окна дисплея. При использовании иконки **Zoom Out** объект, отмеченный мышью, сводится до размера окна дисплея.

Клавиша клавиатуры "z" соответствует Zoom In, а клавиша "o" - Zoom Out.

## 10. Список файлов и команд для быстрого поиска

### ГЛАВНОЕ МЕНЮ

#### FILE

<b>MSK OPTIONS</b>	Конфигурация принтера и другая информация
<b>NEW</b>	Перезагрузка программы и запуск с очисткой экрана
<b>READ</b>	Считывание файла данных с топологией
<b>INSERT</b>	Вставка топологии в текущую топологию
<b>SAVE</b>	Сохранение топологии в текущем файле
<b>WRITE TO...</b>	Сохранение топологии в новом файле
<b>CHANGE VDD</b>	Изменение значения напряжения питания
<b>FOUNDARY</b>	Выбор файла с правилами проектирования технологии
<b>PSPICE FILE</b>	Создание PSPICE совместимого файла для данной топологии
<b>QUIT</b>	Выход из программы MSK в DOS
<b>SIMULATE</b>	Аналоговое моделирование данной топологии
<b>COMPILE</b>	Компилятор КМОП логической ячейки
<b>VIEW</b>	
<b>VIEW ALL</b>	Подгонка окна дисплея под изображение топологии
<b>VIEW NODE</b>	Экстракция топологии и просмотр узла, отмеченного курсором
<b>VIEW CONNECT</b>	Просмотр узлов в слоях Металл, Металл2 и поли-Si
<b>UNDO</b>	Undo последней команды редактирования

#### Список иконок



Рисование прямоугольника с использованием выбранного слоя в палитре



Стирание прямоугольника или текста



Вертикальное сечение прибора



Характеристики МОП транзистора



Растягивание прямоугольника



Выбор правила проектирования



Библиотека ячеек (МОП и биполярные транзисторы, чипы, корпусирование)



Поворот картинки



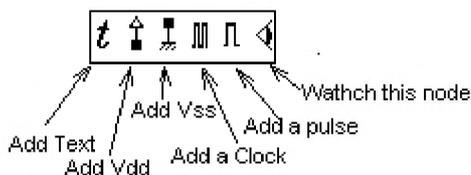
Измерение расстояний в величинах  $\lambda$  или мкм



Увеличение изображения



Уменьшение изображения



Характеристики моделирования: текст, VDD, VSS, временная диаграмма, сигнал, видимый узел

## СПИСОК ФАЙЛОВ

<u>ПРОГРАММА</u>	<u>ОПИСАНИЕ</u>	<u>ГЛАВА</u>
3D.EXE	Моделирование технологии	2
PROF.EXE	Моделирование МОП транзистора	1
MSK.EXE	Редактирование и моделирование топологии	3...8
PLOT.EXE	Вывод топологии на плоттер	11
PLOT2.EXE	HP плоттер с высоким разрешением	11
MSK2CIF.EXE	Преобразование MSK-файла в формат CIF	11
MSK2CIF.PAS	Исходный код программы	11
<u>ФАЙЛЫ ДАННЫХ</u>	<u>ОПИСАНИЕ</u>	<u>ГЛАВА</u>

ES212.RUL	ES2 CMOS 1.2 мкм технология	
ES210.RUL	ES2 CMOS 1.0 мкм технология	
ES208.RUL	ES2 CMOS 0.8 мкм технология	
<b>ПРОГРАММА</b>	<b>ОПИСАНИЕ</b>	<b>ГЛАВА</b>

AMS212.RUL	AMS BiCMOS 1.2 мкм технология	
AFFO12.RUL	HAFFO 1.2мкм CMOS с низким питанием	
JESSI05.RUL	JESSI CMOS 0.5 мкм технология	
MY.FNT	Шрифт, используемый во всех программах	
MY.DRV	Файл конфигурации программы MSK	
CMOS.MSK	Топология инвертора	
NAND2.MSK	Топология ячейки И-НЕ с двумя входами	
XOR.MSK	Топология ячейки "Искл. ИЛИ" с двумя входами	
NOR2.MSK	Топология ячейки ИЛИ-НЕ с двумя входами	
HADD.MSK	Топология полусумматора	
FADD.MSK	Топология полного сумматора	
RS.MSK	Топология RS-триггера	
DLATCH.MSK	Топология D-триггера	

RAM.MSK	Топология 1-разрядного ОЗУ	
DAC.MSK	ЦАП	
ADC.MSK	АЦП	
ADD4.MSK	4-разрядный сумматор	
COUNT.MSK	2-разрядный счетчик	
AMPLI2.MSK	Широкополосный усилитель	
MUL22.MSK	2x2-разрядный умножитель	
PAD.MSK	Контактная площадка Вход/выход	
BICOMP.MSK	БиКМОП инвертор	
CHI*.MSK	Окончательная сборка чипа	

MY.FNT            Шрифты букв, используемые во всех программах.

MY.DRV            Файл конфигурации. Первая строка - объявление драйвера принтера. По умолчанию используется IBM графический режим. Другой режим (HP) - использование принтера HP DeskJet/LaserJet. Вторая строка - назначение разрешения принтера. Третья строка - файл правил проектирования технологии.

\*.RUL            Файлы с расширением .RUL при использовании программы MSK служат для изменения параметров моделирования ( $V_t$ ,  $K$ ,  $V_{DD}$  и т. д.), правил проектирования и значений паразитных емкостей (см. главу 8).

\*.MSK            Файлы данных, создаваемые программой MSK и представляющие собой текстовые файлы, в которых содержится список прямоугольников и слоев, а также список текстовых деклараций. Программа 3D позволяет моделировать любой технологический процесс, информация о котором содержится в соответствующем .MSK файле.

\*.CIR                    Программа MSK создает PSPICE совместимый файл описания схемы при выполнении последовательности команд **File->PSPICE File**. Например, для текущего файла **MYTEST.MSK** создается текстовый файл **MYTEST.CIR**, который содержит список транзисторов, емкостей и источников напряжений, соответствующих данной схеме, в PSPICE совместимом формате.

PLOT.EXE                Создаются параметры для выдачи на принтер анализируемого файла **.MSK**. Для выдачи на печать файла данных **mytest.msk** наберите на клавиатуре **plot mytest** и нажмите ENTER.

PLOT2.EXE              Этот файл служит для выдачи на печать файла с расширением **.MSK** с высокой степенью разрешения только в режиме HP. Данная утилита требует по крайней мере 500Kb памяти.

## 11. Руководство для преподавателя

### Программа PROF

Программа PROF предназначена для изучения основных положений предмета микроэлектроники. В частности, предоставляется возможность изучения характеристик МОП транзистора посредством произвольного изменения напряжений на истоке, стоке и затворе и последующего просмотра их влияния на ток  $I_{ds}$ .

Возможные контрольные вопросы:

1. Определите значение порогового напряжения. Объяснения приведены в разделе 1, параграф “Ввод значений  $V_d$ ,  $V_g$  и  $V_s$ ”.
2. Определите максимально возможное значение тока  $I_{ds}$ . Оно должно быть примерно равным 1 mA.
3. Измените ширину канала с  $4\lambda$  на  $8\lambda$  и определите новое максимальное значение  $I_{ds}$ . Оно должно быть в 2 раза больше предыдущего, поскольку  $I_{ds} = W/L$  (...).
4. Измените рабочую температуру прибора. Как влияет температура на быстродействие МОП прибора?
5. Промоделируйте p-канальный МОП прибор. Как влияет уменьшение подвижностей носителей заряда на характеристики прибора?
6. Увеличьте значение VDD с 5 до 20 В и величину  $V_g$ . Будет ли функционировать прибор при таких параметрах?

### Программа 3D

Программа 3D позволяет просмотреть активные элементы ИС в 3-х-мерном изображении и исследовать технологический процесс их изготовления.

В файле **cmos** содержится описание CMOS инвертора. Описание последовательности проведения технологических операций для формирования

приборов приведено в разделе 2. Подробно описаны базовые технологические операции: формирование карман а посредством имплантации, осаждение затвора, диффузионное легирование и осаждение металла.

## Программа MSK

Программа - MSK наиболее важная из всех трех программ, входящих в программный комплекс MICRO. Она предназначена для изучения всего круга вопросов, связанных с проектированием и моделированием интегральных схем. Рекомендуется следующая последовательность изучения этой программы.

- Проведите последовательное проектирование инвертора, как показано в разделе 3. Студенты должны ознакомиться с основными процедурами программы: нарисовать прямоугольник, стереть один прямоугольник, изменить слой, добавить VDD, VSS или CLOCK, провести моделирование, записать результаты.
- Проведите моделирование инвертора.
- Изучите принципы работы CMOS компилятора (раздел 4) и выберите необходимое уравнение для описания функционирования схемы. Примеры уравнений для описания логических ячеек:

$s=a.b$	логическое И
$s=/(a.b)$	логическое И-НЕ
$out=x+y$	логическое ИЛИ
$out=/(x+y)$	логическое ИЛИ-НЕ
$s=(a.b.c)$	логическое И с тремя входами
$x=(in.(b+c))$	смешанный элемент И/ИЛИ

- Разработайте проекты арифметической, триггерной или аналоговой ячеек, как описано в других разделах, или следующих ячеек: триггер Шмитта, умножитель, повторитель, сдвиговый регистр, осциллятор, строчный декодер, линейный декодер, усилитель считывания, RAM ячейка, ROM ячейка.

Информацию о том, как изменить правила проектирования, можно найти в разделе 8. В этом же разделе подробно описан файл **ES212.RUL** с правилами проектирования.

Для организации качественного вывода результатов проектирования на принтер используйте программу PLOT2 только в том случае, если имеется HP совместимый принтер. Для IBM совместимого принтера используйте программу PLOT. Для распечатки файла данных **mytest.msk** наберите на клавиатуре **mytest**. Используйте команду **File -> MSK Options** для перехода из режима IBM в режим HP.

Программа MSK не предназначена для моделирования слишком больших схем. В этом случае появляется сообщение "Memory Overflow". При рассмотрении таких больших схем их следует расчленить на отдельные более мелкие блоки и моделировать каждый блок отдельно.

## Содержание

Ведение.....	3
1. Изучение МОП и биполярных приборов (программа PROF).....	4
Ввод величин $V_d$ , $V_g$ и $V_s$ .....	5
Изменение параметров МОП прибора.....	6
Сток-затворные ( $I_d/V_g$ ) характеристики.....	7
Изменение температуры.....	8
Модель МОП транзистора.....	9
Исследование параметров МОП транзистора в приближении программы PSPICE Level3.....	10
Подгонка модельных расчетов к результатам измерений.....	11
Другие результаты измерений, имеющиеся в базе данных.....	16
pМОП транзистор.....	17
N+/P диод.....	18
P+/N диод.....	18
Биполярный транзистор.....	19
МОП конденсатор.....	20
Изменение параметров технологии.....	21
2. Изучение процессов изготовления приборов (программа 3D).....	23
Изменение масштаба.....	27
Трехмерное изображение ячейки ОЗУ.....	27
Входная контактная площадка.....	29
3. Проектирование КМОП инвертора (программа MSK).....	30
КМОП инвертор.....	31
Ручное проектирование.....	31
Моделирование технологии.....	33
ВАХи МОП приборов.....	35
Контакты и металлические межсоединения.....	36
Добавление текста.....	37
Характеристики моделирования.....	38
Аналоговое моделирование.....	39
4. Базовые логические элементы.....	43
Элемент И-НЕ.....	43
Проектирование элемента И-НЕ.....	43
Моделирование элемента И-НЕ.....	44
Элемент ИЛИ-НЕ с тремя входами.....	45
Элемент "Исключающее ИЛИ".....	47
5. Арифметические ячейки.....	50
Ячейка полусумматора.....	50
Ячейка полного сумматора.....	51

Компаратор.....	53
6. Триггеры и ячейки памяти.....	56
RS триггер.....	56
D триггер.....	58
Ячейка ОЗУ.....	60
7. Другие проекты.....	63
Четырех-разрядный сумматор.....	63
2x2-разрядный умножитель.....	65
Двух-разрядный счетчик.....	66
Широкополосный усилитель.....	67
Интерфейс с программой PSPICE.....	70
Аналого-цифровой преобразователь.....	71
Цифро-аналоговый преобразователь.....	73
БиКМОП инвертор.....	75
БиКМОП ячейка И-НЕ.....	76
Контактная площадка вход/выход.....	78
Кольцо из контактных площадок.....	80
8. Правила проектирования.....	82
БиКМОП и КМОП технологии.....	82
Правила проектирования ES2, AMS, JESSI и ABB HAFFO технологий.....	82
9. Работа комплекса программ и команды.....	89
Запуск программ.....	89
Вывод на принтер.....	89
CIF конвертор.....	89
Список команд.....	89
Меню моделирования.....	95
10. Список файлов и команд для быстрого поиска.....	99
11. Руководство для преподавателя.....	103

Св. план 1999, поз. 58

Учебное издание

Нелаев Владислав Викторович

Учебное пособие

ВВЕДЕНИЕ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКУ

для курсов лекций и лабораторных работ по дисциплинам  
“РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ  
И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ”,  
“ОСНОВЫ САПР В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ”,  
“МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
И ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ”,  
“ФИЗИКА АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ”

ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ Т. 07. 01 “МИКРОЭЛЕКТРОНИКА”

Редактор Т.Н. Крюкова

Корректор Е.Н. Батурчик

---

Подписано в печать

Формат 60×84 1/16

Бумага

Печать офсетная

Усл. печ. л. 5, 0

Уч. - изд. п. 5, 0

Тираж 100 экз.

Заказ

---

Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

Отпечатано в БГУИР. Лицензия ЛП № 156. 220027, Минск, П. Бровка, 6