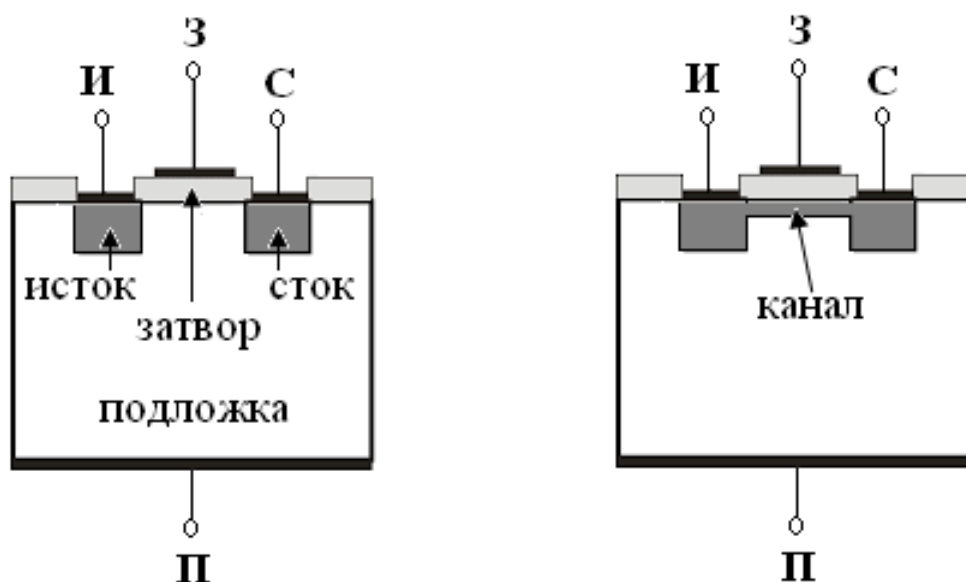


## ТЕОРИЯ РАБОТЫ МДП – транзистора

Основным активным элементом большинства цифровых схем является МДП-транзистор (МДП – металл-диэлектрик-полупроводник). МДП-транзисторы бывают двух типов: nМДП и pМДП. В nМДП-транзисторе основными носителями заряда являются электроны, а в pМДП – дырки. Структура и принцип работы nМДП-транзистора показан на рисунке ниже.



На основании (подложке (П)) полупроводника с электропроводностью p-типа созданы две зоны с повышенной электропроводностью n+-типа. Все это покрывается тонким слоем диэлектрика, обычно диоксида кремния  $\text{SiO}_2$ . Сквозь диэлектрический слой проходят металлические выводы от областей n+-типа, называемые *стоком* (С) и *истоком* (И). Над диэлектриком находится слой *затвора* (З).

При напряжении на затворе  $U_{зи}$  равным нулю, проводящего канала между стоком и истоком нет и ток стока равен нулю  $I_c = 0$  (рисунок слева). Если подать на затвор положительное напряжение относительно истока  $U_{зи}$ , возникнет электрическое поле. Оно будет выталкивать положительно заряженные дырки из зоны под затвором вглубь подложки. В результате под затвором концентрация дырок начнет уменьшаться, и их место займут электроны, притягиваемые положительным напряжением на затворе. Когда  $U_{зи}$  достигнет своего порогового значения  $U_{пор}$ , концентрация электронов в области под затвором превысит концентрацию дырок. Между стоком и истоком сформируется тонкий канал с электропроводностью n-типа, по которому пойдет ток  $I_c$  (рисунок справа). Чем выше напряжение на затворе транзистора  $U_{зи}$ , тем шире канал и, следовательно, больше сила тока.

Управляющие напряжения в МДП-транзисторе отсчитываются обычно от потенциала истока и обозначаются:  $U_{зи}$  - напряжение между затвором и истоком;  $U_{си}$  - напряжение между стоком и истоком;  $U_{пи}$  - напряжение между подложкой-истоком.

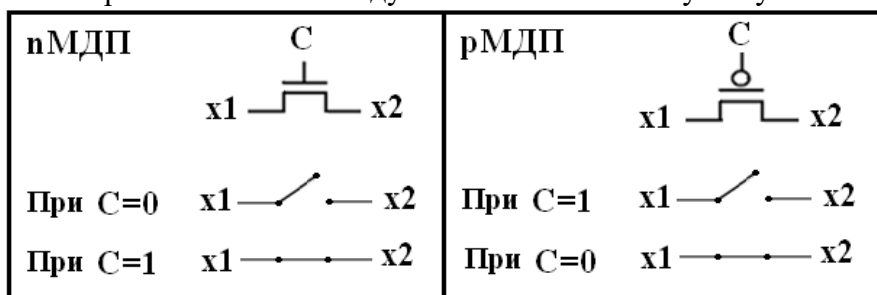
Для оценочных расчетов поведения nМДП-транзистора можно использовать простейшую схематическую модель, представленную в таблице ниже. Транзистор может находиться в одной из 3-ех областей работы: область отсечки (когда канала нет), крутая область (канал открыт, но напряжение  $U_{си}$  мало) и пологая область (канал открыт и напряжение  $U_{си}$  больше разницы  $U_{зи} - U_{пор}$ ). Из уравнения для пологой области видно, что в этой области работы транзистора  $I_c$  не зависит от  $U_{си}$ , т.е. ток достигает своего максимального значения (насыщения) и больше не растет с ростом  $U_{си}$ .

### Простейшая схемотехническая модель nМДП-транзистора

Область работы транзистора	Напряжения, определяющие область работы	Ток транзистора
Область отсечки	$U_{зи} < U_{пор}$	$I_C = 0$
Крутая область	$U_{зи} \geq U_{пор}$ $U_{си} < U_{зи} - U_{пор}$	$I_C = k\{(U_{зи} - U_{пор})U_{си} - U_{си}^2/2\}$ $k$ - крутизна транзистора $U_{пор}$ - пороговое напряжение
Пологая область	$U_{зи} \geq U_{пор}$ $U_{си} \geq U_{зи} - U_{пор}$	$I_C = k(U_{зи} - U_{пор})^2/2$

### ТЕОРИЯ РАБОТЫ ПРОХОДНЫХ КЛЮЧЕЙ

На рисунке ниже приведены графические обозначения и пояснение работы проходных ключей на транзисторах nМДП- и рМДП-типа. Ключ на nМДП-транзисторе замыкается при поступлении логической единицы на его вход С, а ключ на рМДП-транзисторе – при поступлении логического нуля на вход С. В противном случае, ключи разомкнуты, и электрическая связь между точками x1 и x2 отсутствует.



На проходных ключах можно формировать различные логические функции. Например, ниже на рисунке слева приведена реализация функции логического умножения  $F1 = A \cdot B$  (черта сверху над именем входа означает инверсию сигнала, например, при  $B=0$ ,  $\bar{B}=1$  и наоборот; знак  $\perp$  обозначает потенциал земли, равный логическому нулю;  $V_{DD}$  – напряжение питания схемы, равное логической единице). Сигналы на входах А, В,  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  принимают значения логический ноль, либо логическая единица.

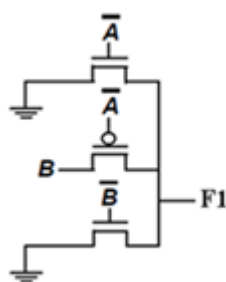


Таблица истинности функции F1

Входы		Выходы
A	B	F1
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Правильность построения схемы для функции F1 можно проверить по таблице истинности. При  $A=B=1$  через открытый рМОП-транзистор на выход F1 передается сигнал  $B=1$ . Во всех остальных случаях сигнал на выходе F1 будет равен нулю (при  $A=B=0$ ,  $\bar{A}=1$  и через открытые верхний и нижний транзисторы на выход передается потенциал земли, при  $A=0$  и  $B=1$  через открытый верхний транзистор передается ноль на выход, при  $A=1$  и  $B=0$  открыт только средний транзистор, и сигнал на выходе  $F1=B=0$ ).

**P.S. Школьник, желаю тебе победы!**