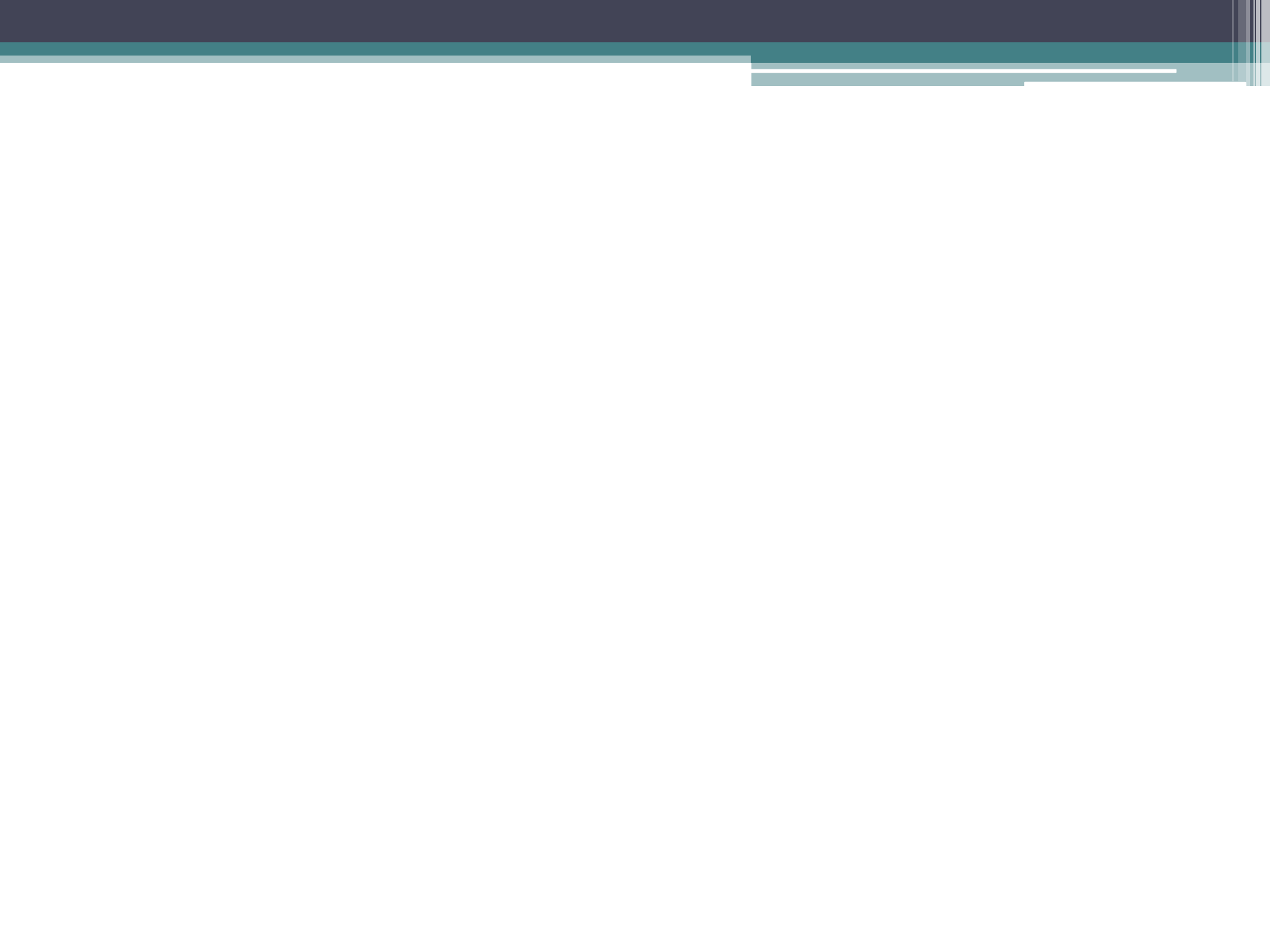
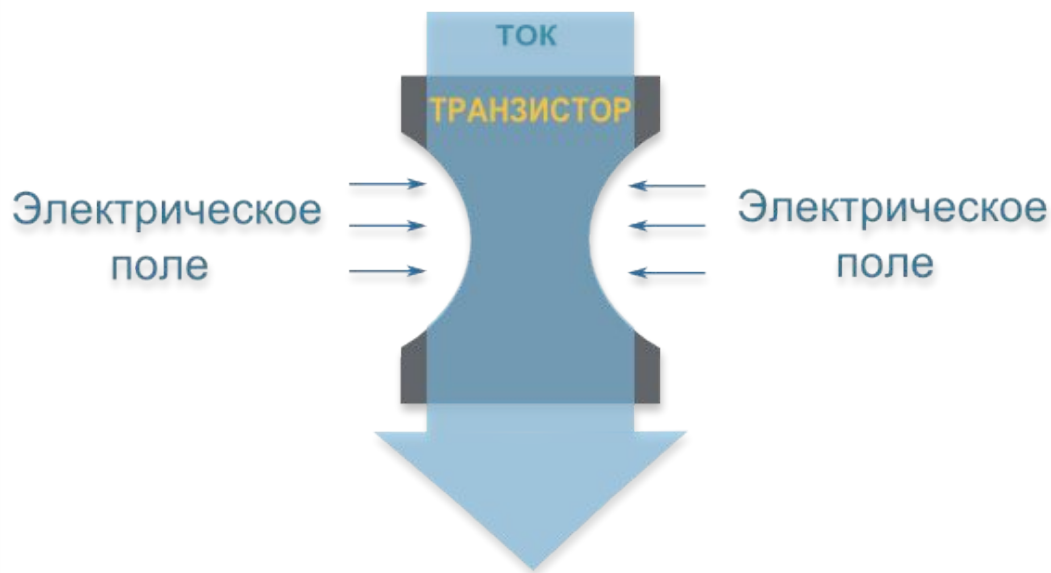


ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА КМОП-ТРАНЗИСТОРАХ

КМОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник; англ. *CMOS, complementary metal-oxide-semiconductor*) — технология построения электронных схем. В более общем случае — КМДП (со структурой металл-диэлектрик-полупроводник). В технологии КМОП используются полевые транзисторы с изолированным затвором с каналами разной проводимости.



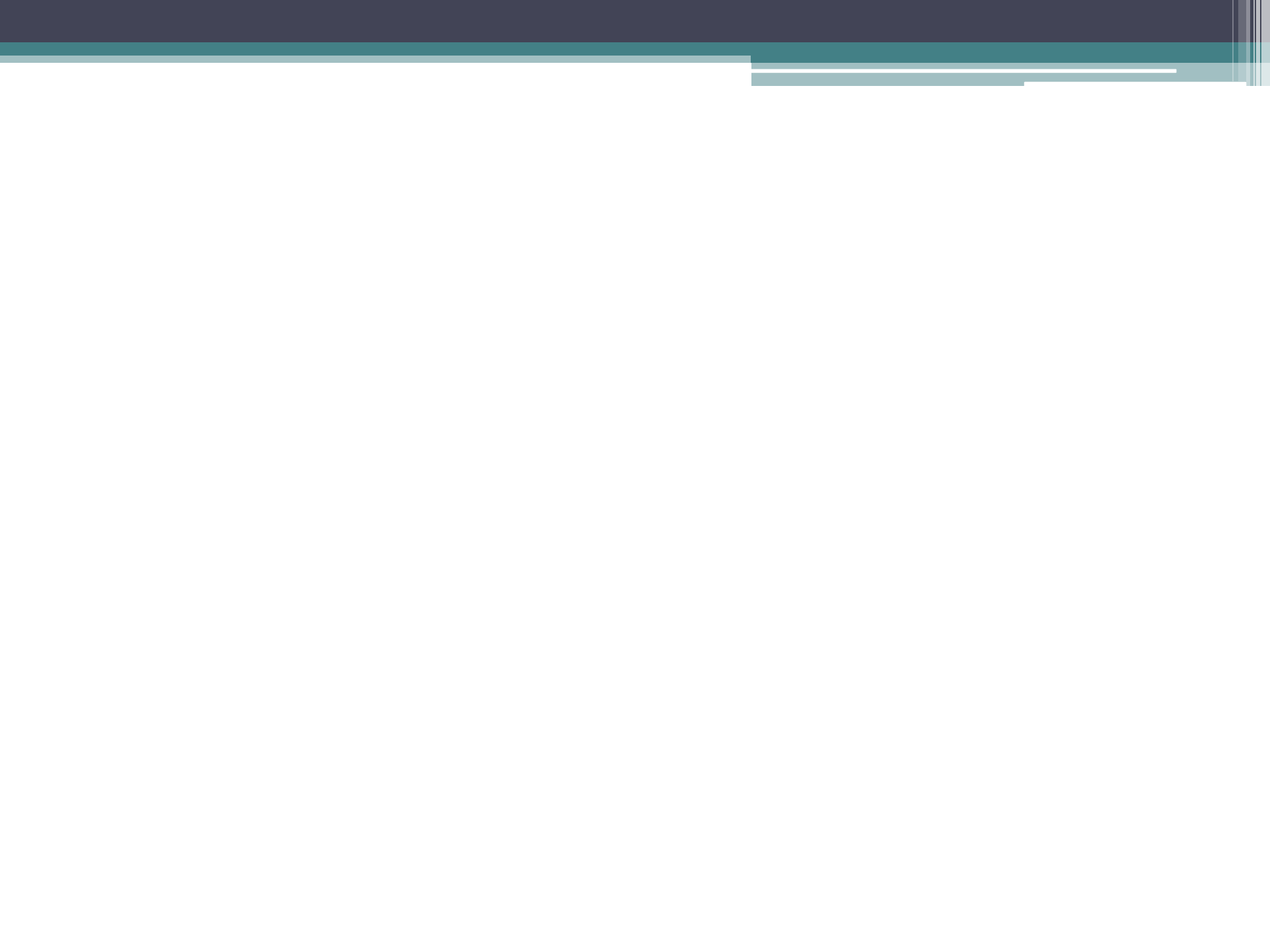


Полевой транзистор с изолированным затвором

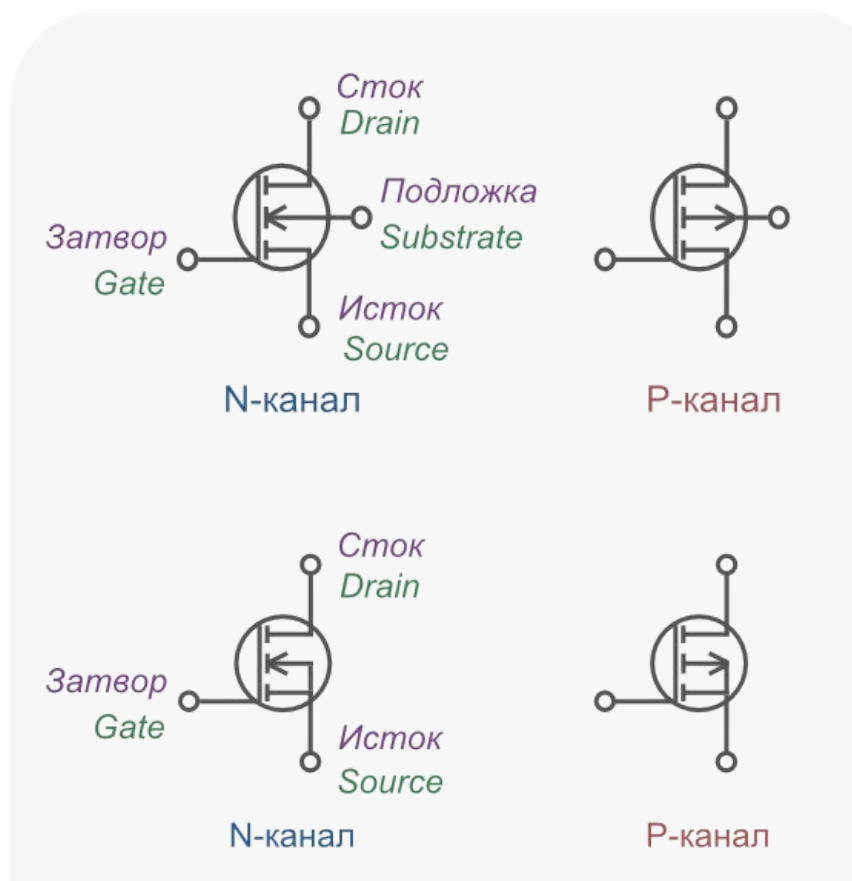
– это полевой транзистор, затвор которого электрически изолирован от проводящего канала полупроводника слоем диэлектрика. Благодаря этому, у транзистора очень высокое входное сопротивление (у некоторых моделей оно достигает 10^{17} Ом).

Принцип работы этого типа полевого транзистора основан на влиянии внешнего электрического поля на проводимость прибора.

- В соответствии со своей физической структурой, полевой транзистор с изолированным затвором носит название **МОП-транзистор** (*Металл-Оксид-Полупроводник*)
- МОП-транзисторы делятся на два типа – со *встроенным каналом* и с *индуцированным каналом*. В каждом из типов есть транзисторы с *N-каналом* и *P-каналом*.

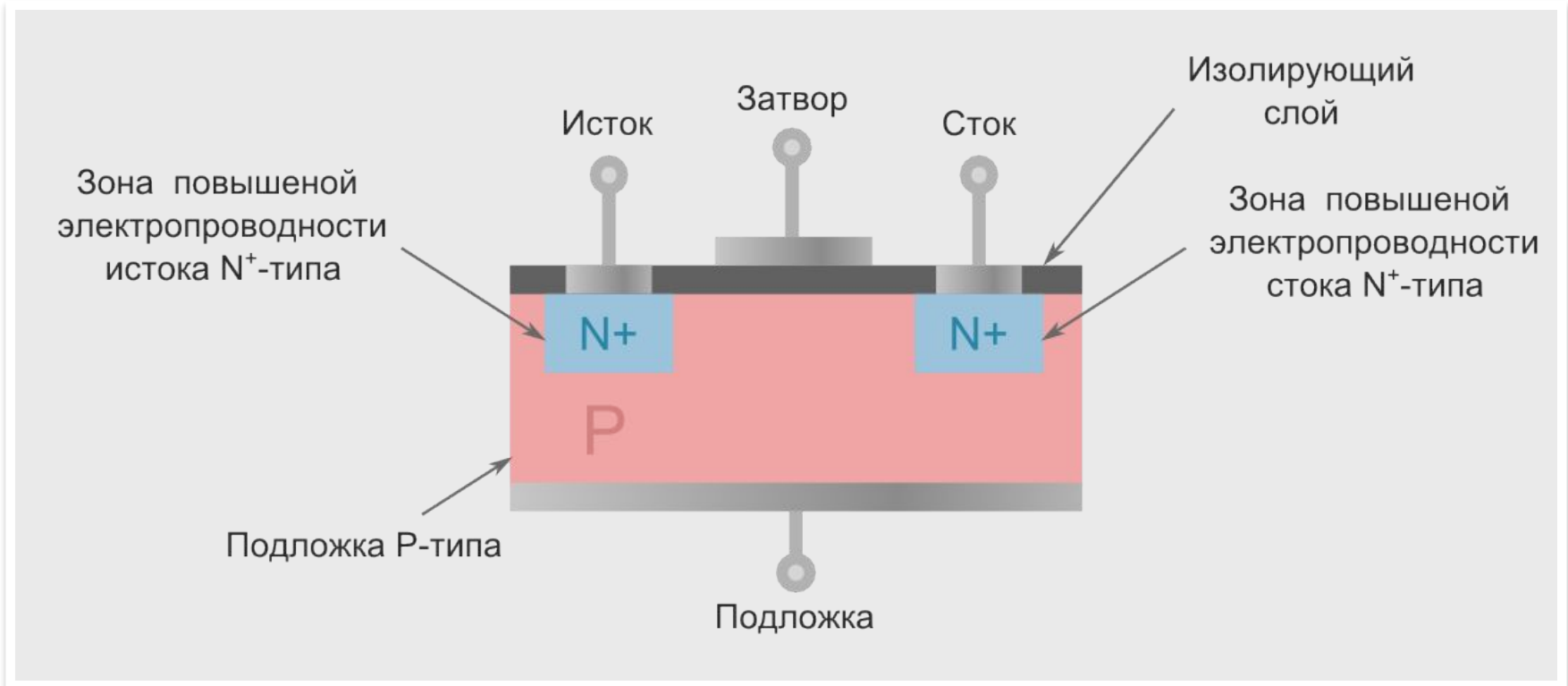


Обозначения на схеме:

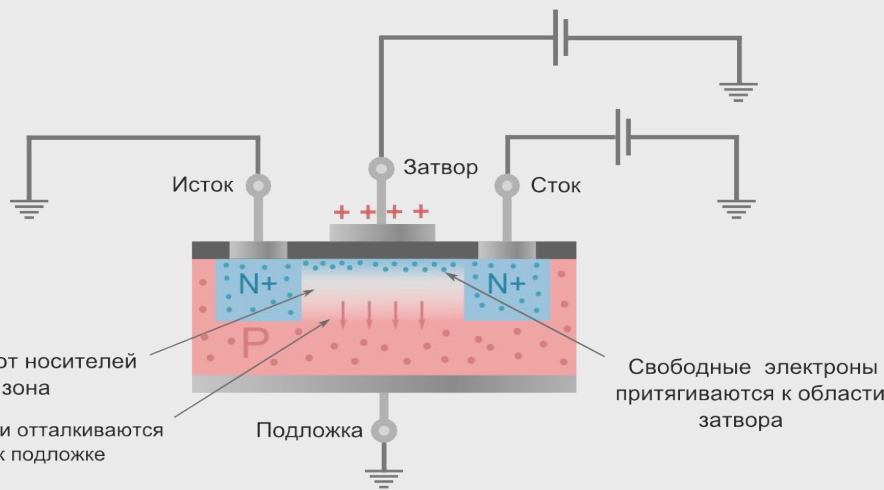


Устройство:

На основании (*подложке*) полупроводника с электропроводностью Р-типа (для транзистора с N-каналом) созданы две зоны с повышенной электропроводностью N⁺-типа. Все это покрывается тонким слоем диэлектрика, обычно диоксида кремния SiO₂. Сквозь диэлектрический слой проходят металлические выводы от областей N⁺-типа, называемые *стоком* и *истоком*. Над диэлектриком находится металлический слой *затвора*. Иногда от подложки также идет вывод, который закорачивают с истоком



Работа:



Работа МДП-транзистора с индуцированным каналом N-типа

Подключим напряжение любой полярности между стоком и истоком. В этом случае электрический ток не пойдет, поскольку между зонами N^+ находится область P , не пропускающая электроны. Далее, если подать на затвор положительное напряжение относительно истока $U_{зи}$, возникнет электрическое поле. Оно будет выталкивать положительные ионы (дырки) из зоны P в сторону 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, концентрация электронов в области затвора превысит концентрацию дырок. Между стоком и истоком сформируется тонкий канал с электропроводностью N -типа, по которому пойдет ток $I_{си}$. Чем выше напряжение на затворе транзистора $U_{зи}$, тем шире канал и, следовательно, больше сила тока. Такой режим работы полевого транзистора называется режимом обогащения. Принцип работы МДП-транзистора с каналом P -типа такой же, только на затвор нужно подавать отрицательное напряжение относительно истока.

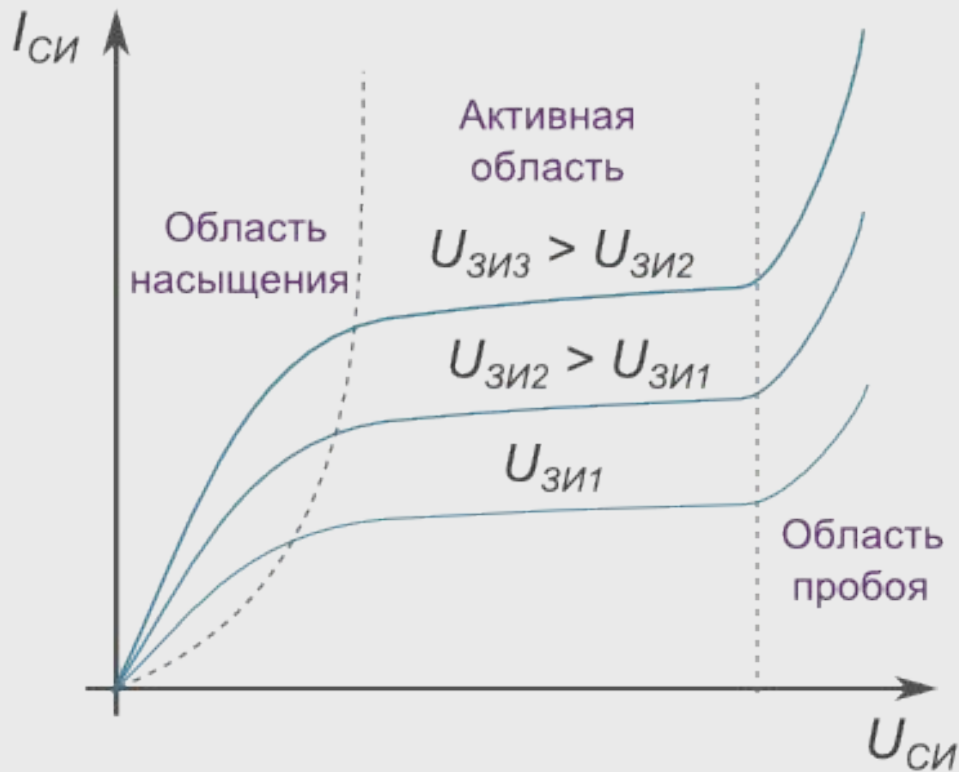
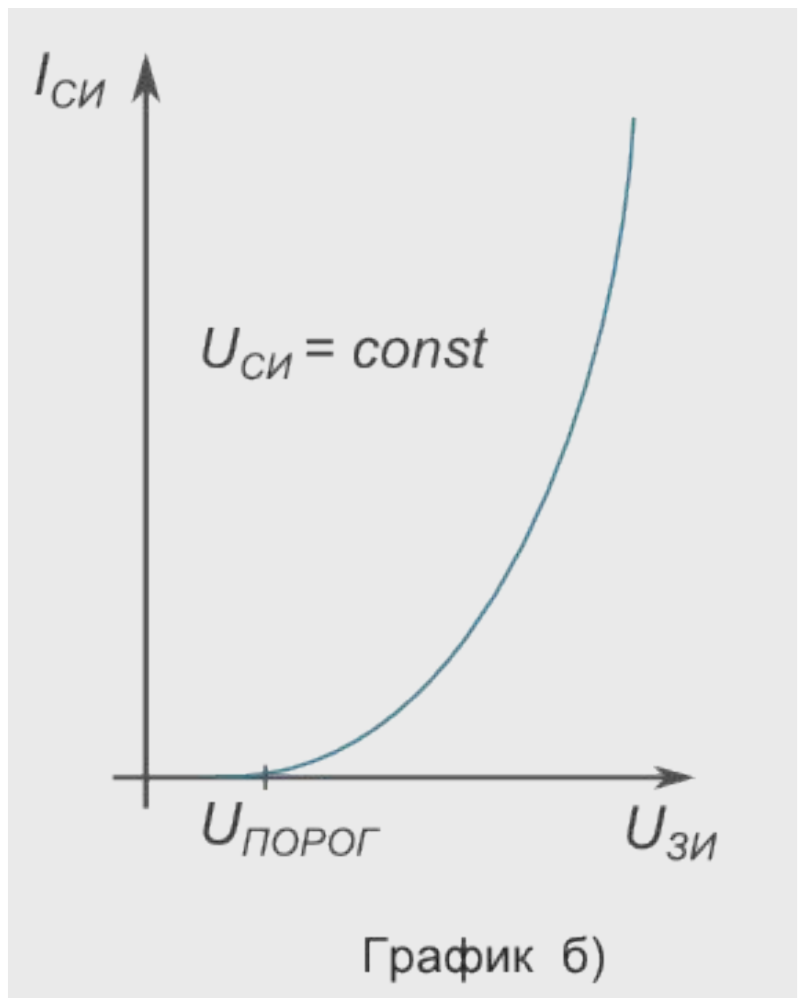


График а)

Вольт-амперные характеристики (ВАХ)

Как видно на графике а), вначале ток $I_{си}$ растет прямопропорционально росту напряжения $U_{си}$. Этот участок называют *омическая область* (действует закон Ома), или *область насыщения* (канал транзистора насыщается носителями заряда).



Вольт-амперные характеристики (ВАХ)

Потом, когда канал расширяется почти до максимума, ток $I_{СИ}$ практически не растет. Этот участок называют *активная область*.

Когда $U_{СИ}$ превышает определенное пороговое значение (*напряжение пробоя PN-перехода*), структура полупроводника разрушается, и транзистор превращается в обычный проводник. Данный процесс не восстановим, и прибор приходит в негодность.

Преимущества:

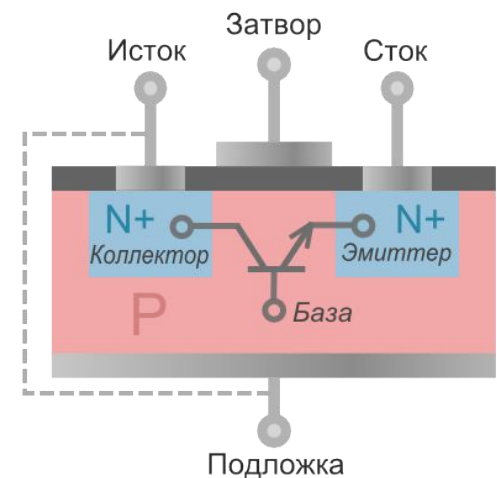
- Благодаря очень высокому входному сопротивлению, цепь полевых транзисторов расходует крайне мало энергии, так как практически не потребляет входного тока.
- Усиление по току у полевых транзисторов намного выше, чем у биполярных.
- Значительно выше помехоустойчивость и надежность работы, поскольку из-за отсутствия тока через затвор транзистора, управляющая цепь со стороны затвора изолирована от выходной цепи со стороны стока и истока.
- У полевых транзисторов на порядок выше скорость перехода между состояниями проводимости и непроводимости тока. Поэтому они могут работать на более высоких частотах, чем биполярные.

Недостатки:

- Структура полевых транзисторов начинает разрушаться при меньшей температуре (150С), чем структура биполярных транзисторов (200С).
- Несмотря на то, что полевые транзисторы потребляют намного меньше энергии, по сравнению с биполярными транзисторами, при работе на высоких частотах ситуация кардинально меняется. На частотах выше, примерно, чем 1.5 GHz, потребление энергии у МОП-транзисторов начинает возрастать по экспоненте. Поэтому скорость процессоров перестала так стремительно расти, и их производители перешли на стратегию «многоядерности».

Недостатки:

- При изготовлении мощных МОП-транзисторов, в их структуре возникает «паразитный» биполярный транзистор. Для того, чтобы нейтрализовать его влияние, подложку закорачивают с истоком. Это эквивалентно закорачиванию базы и эмиттера паразитного транзистора. В результате напряжение между базой и эмиттером биполярного транзистора никогда не достигнет необходимого, чтобы он открылся (около 0.6В необходимо, чтобы PN-переход внутри прибора начал проводить). Однако, при быстром скачке напряжения между стоком и истоком полевого транзистора, паразитный транзистор может случайно открыться, в результате чего, вся схема может выйти из строя.

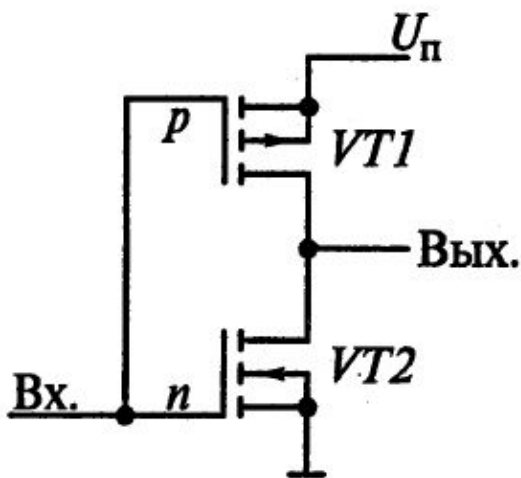


Недостатки:

- Важнейшим недостатком полевых транзисторов является их **чувствительность к статическому электричеству**. Поскольку изоляционный слой диэлектрика на затворе чрезвычайно тонкий, иногда даже относительно невысокого напряжения бывает достаточно, чтоб его разрушить.
- Поэтому внешние корпуса полевых транзисторов стараются создавать таким образом, чтоб минимизировать возможность возникновения нежелательного напряжения между электродами прибора. Одним из таких методов является закорачивание истока с подложкой и их заземление. Также в некоторых моделях используют специально встроенный диод между стоком и истоком. **При работе с интегральными схемами (чипами), состоящими преимущественно из полевых транзисторов, желательно использовать заземленные антистатические браслеты. При транспортировке интегральных схем используют вакуумные антистатические упаковки**

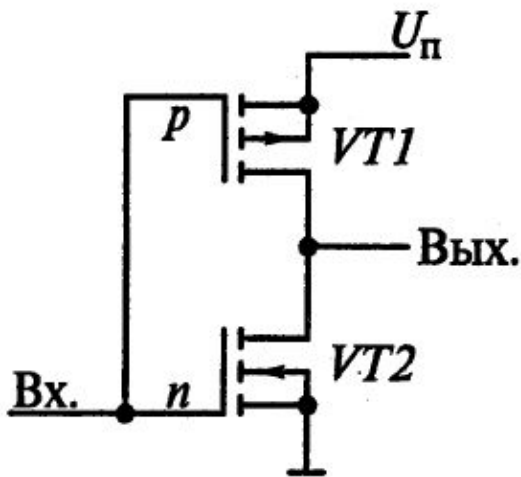


Инвертор на КМОП-транзисторах



Инвертор состоит из двух встречно включенных МОП-транзисторов: $VT1$ с каналом р-типа и $VT2$ с каналом п-типа. Их затворы объединены и являются входом инвертора. Исток и подложка у МОП-транзистора с каналом р-типа соединяются с источником $U_{п}$, а у МОП-транзистора с каналом п-типа – с общей шиной. Общая точка стоков этих транзисторов служит выходом. При этом их р-п-переходы исток-подложка, сток-подложка всегда заперты.

Инвертор на КМОП-транзисторах



- Если напряжение на входе равно нулю, то транзистор $VT2$ заперт, а $VT1$ открыт. На выходе инвертора напряжение равно напряжению источника питания $U_{п}$.
- Если напряжение на входе равно напряжению источника питания $U_{п}$, то транзистор $VT1$ закрыт, а транзистор $VT2$ открыт и выходное напряжение равно нулю.

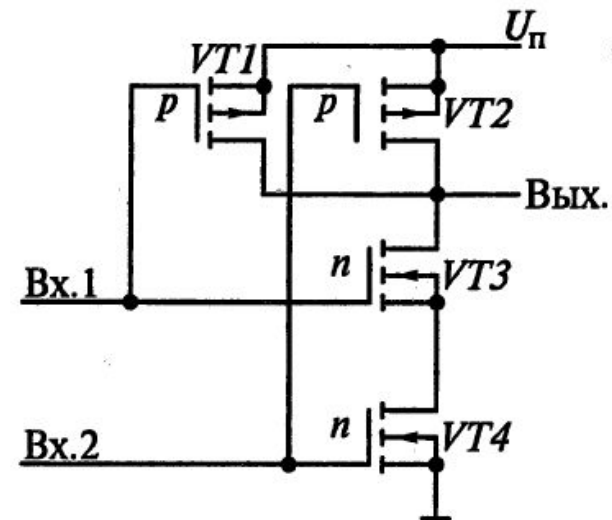
Фактор, позволяющий создавать схемы с высокой степенью интеграции:

В статическом состоянии потребляемая мощность микросхем равна нулю.

- В схеме на КМОП-транзисторах практически всегда в паре работают транзисторы с разными видами каналов, затворы которых объединены. В результате в статическом состоянии в одном из транзисторов канал для протекания тока всегда будет отсутствовать.
- Кроме того, вытекающий в нагрузку ток будет равен нулю, т.к. под затвором входной цепи микросхемы нагрузки находится диэлектрик.

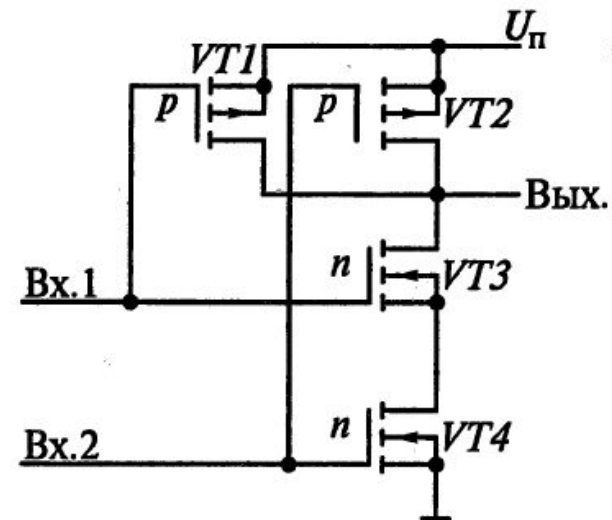
И-НЕ на КМОП-транзисторах

- Состоит из двух параллельно включенных МОП-транзисторов с каналом р-типа и двух последовательно включенных МОП-транзисторов с каналом n-типа.
- Входной сигнал управляет парой МОП-транзисторов с каналами разной проводимости, при этом всегда один из транзисторов будет открыт, а другой закрыт.



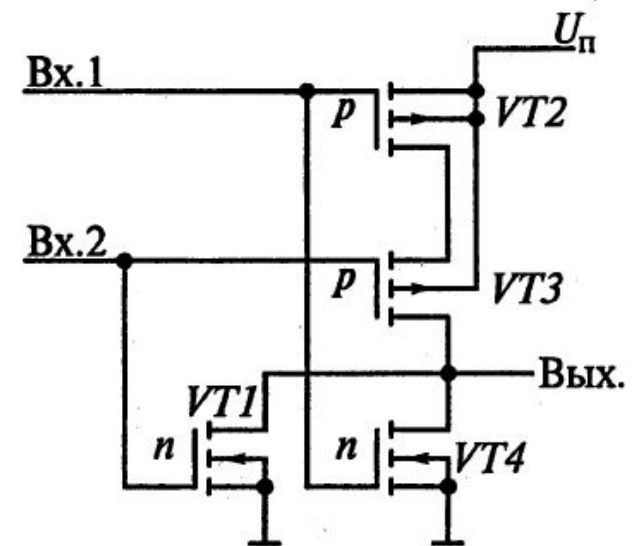
И-НЕ на КМОП-транзисторах

- При поступлении на оба входа напряжений, соответствующих логической 1, на выходе логического элемента должно появиться напряжение, соответствующее логическому 0.
- При поступлении хотя бы на один из входов напряжения, соответствующего логическому 0, на выходе должно появиться напряжение соответствующее логической 1.



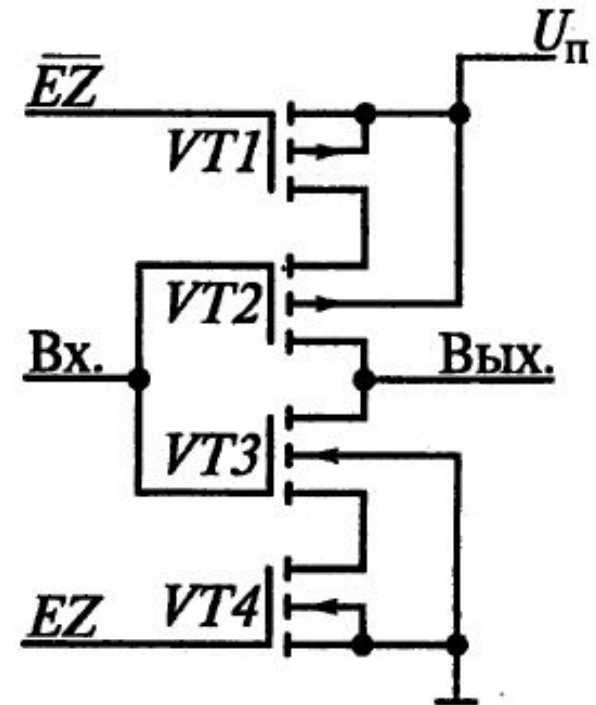
ИЛИ-НЕ на КМОП-транзисторах

- Состоит из двух последовательно включенных МОП-транзисторов с каналом р-типа и двух параллельно включенных МОП-транзисторов с каналом n-типа
- При поступлении хотя бы на один из входов напряжения, соответствующего логической 1, на входе должно появиться напряжение, соответствующее логическому 0.
- При поступлении на оба входа напряжений, соответствующих логическому 0, на выходе должно появиться напряжение, соответствующее логической 1.



Выходной инвертор с тремя устойчивыми состояниями

В этом инверторе имеются дополнительные КМОП-транзисторы ($VT1$ и $VT2$), управляемые противофазными сигналами EZ и \overline{EZ} . При $EZ=1$ оба транзистора открыты, и инвертор работает как обычно. При $EZ=0$ транзисторы $VT1$ и $VT4$ закрыты и инвертор находится в третьем состоянии, характеризующем очень большим выходным сопротивлением. Это позволяет легко организовать работу нескольких логических элементов на общую шину передачи информации в микро-ЭВМ.



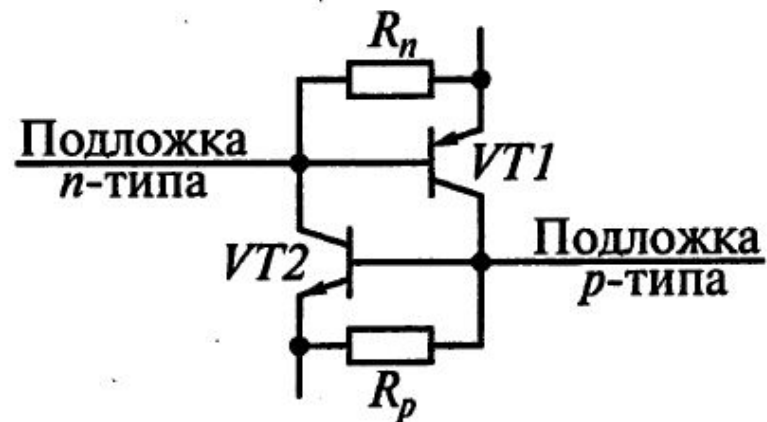


Последовательность подачи питающего напряжения и входных сигналов

При включении МОП-транзисторов так, как показано на рисунке образуется тиристор между шинами питания.

При включении тиристора происходит замыкание шины питания и общей шины, и в результате большой мощности, рассеиваемой на микросхеме, возможно ее повреждение.

В этом случае напряжение питания на КМОП-микросхемы следует всегда подавать раньше подачи любых входных сигналов, а выключение микросхем следует выполнять в обратном порядке.



Токоограничивающие резисторы на выходе и входе логического элемента

Если на выходе КМОП-микросхемы включен конденсатор с достаточно большой емкостью, то в моменты переключений через нее протекают большие токи заряда. Чтобы не допустить повреждение прибора между выходом микросхемы и конденсатором включают резистор.

Подавление помех в цепи питания

Для подавление помех в цепи питания между шиной питания и общей шиной включают конденсаторный фильтр: электролитический конденсатор и параллельно ему несколько керамических конденсаторов

Неиспользуемые входы КМОП-микросхемы

Если вход не подсоединен, то на нем возникают непредсказуемые напряжения за счет наводок и связей через паразитные емкости.

Поэтому свободные входы микросхемы обязательно соединяют с шиной питания или общей шиной.

Правила обращения с КМОП-транзисторами:

- В процессе хранения и транспортирования отдельных микросхем выводы их должны быть соединены между собой, например металлической фольгой
- Нельзя производить смену микросхем при включенном питании
- При монтаже микросхем нужно заземляться с помощью проводящего браслета
- Пайку выводов необходимо вести в следующей последовательности: общий, питание, остальные контакты, применяя при этом низковольтный паяльник с заземленным жалом

Сопряжение микросхем ТТЛ и КМОП

Совместное использование логических элементов на ТТЛ и КМОП-транзисторах применяют для снижения затрат и оптимизации схемных решений.

- Соединяют напрямую при одинаковом напряжении питания и без дополнительной нагрузке
- Добавляют на входе микросхему ТТЛ с открытым коллектором и повышенным коллекторным напряжением для увеличения напряжения на выходе элемента до уровня ЛЭ на КМОП-транзистора

- Учить конспект
- Читать учебник И.М. Мышляева Цифровая схемотехника с.92-107