

ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ СВЯЗИ



ТЕМА № 5

«Логические элементы и триггеры»

ЗАНЯТИЕ № 11 ЛЕКЦИЯ

«Логические элементы на биполярных и МДП-транзисторах»

Руководитель занятия – доцент 2 кафедры
полковник Грецев В. П.





1. Классификация ЛЭ и их основные характеристики.
2. Диодно-транзисторные и транзистор-транзисторные логические элементы.
3. Логические элементы на *n*-канальных МДП-транзисторах и комплементарных МДП-транзисторах .

ЛИТЕРАТУРА

1. Вычислительная техника и информационные технологии. /Под общ. ред. Н. П. Грачева. – СПб.: Военная академия связи. 2014. – 204с.: ил. С. 30–43, 44-49 .
2. Вычислительная техника и информационные технологии. /Под общ. ред. Н. П. Грачева. Электронное учебное пособие. – СПб.:– ВАС, 2016.



1. Классификация ЛЭ и их основные характеристики

Признаки различия типов логических элементов:

- диодно-транзисторные логические элементы (ДТЛ);
- транзисторно-транзисторные логические элементы (ТТЛ);
- логические элементы на МДП (КМДП) транзисторах;
- интегральные инжекционные логические элементы (ИИЛ) и др

Основные характеристики которыми описываются логические элементы :

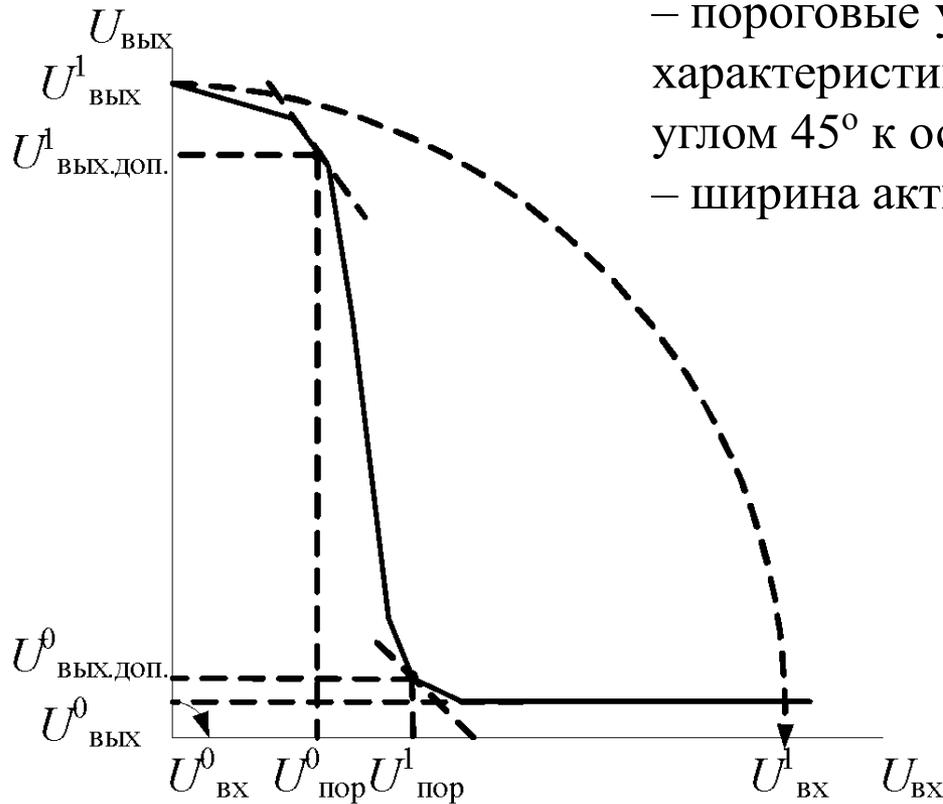
передаточная характеристика, помехоустойчивость, быстродействие, потребляемая мощность, нагрузочная способность, логические уровни и др

Передаточная характеристика представляет собой зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$, где $U_{\text{ВХ}}$ – напряжение на одном из входов. При этом на другие входы логического элемента подается логическая 1, если исследуется элемент И-НЕ, или логический 0 при исследовании элемента ИЛИ-НЕ



1. Классификация ЛЭ и их основные характеристики

- логические уровни выходного сигнала – $U^1_{\text{ВЫХ}}$, $U^0_{\text{ВЫХ}}$;
- логические уровни входного сигнала – $U^1_{\text{ВХ}}$, $U^0_{\text{ВХ}}$;
- амплитуда (логический перепад) $U_m = U^1_{\text{ВЫХ}} - U^0_{\text{ВЫХ}}$;
- пороговые уровни $U^1_{\text{пор}}$, $U^0_{\text{пор}}$, определяемые в точках характеристики, в которых касательная проходит под углом 45° к оси абсцисс;
- ширина активной области $\Delta U = U^1_{\text{пор}} - U^0_{\text{пор}}$.





1. Классификация ЛЭ и их основные характеристики

Помехоустойчивость логического элемента количественно оценивается допустимым напряжением помехи $U_{\text{пом}}$, при котором не происходит ложного перехода элемента из 1 в 0 или наоборот. Различают статическую и динамическую помехоустойчивость. Под статической помехоустойчивостью понимают помехоустойчивость к помехам, длительность которых соизмерима с длительностью переходных процессов в логическом элементе. Она определяется по передаточной характеристике и по отношению к статическим помехам, нарастающим по величине напряжения, может быть определена

$$U_{\text{пом}}^+ = U_{\text{пор}}^0 - U_{\text{вх}}^0.$$

Статическая помехоустойчивость по отношению к помехам, убывающим по величине напряжения, определяется равенством:

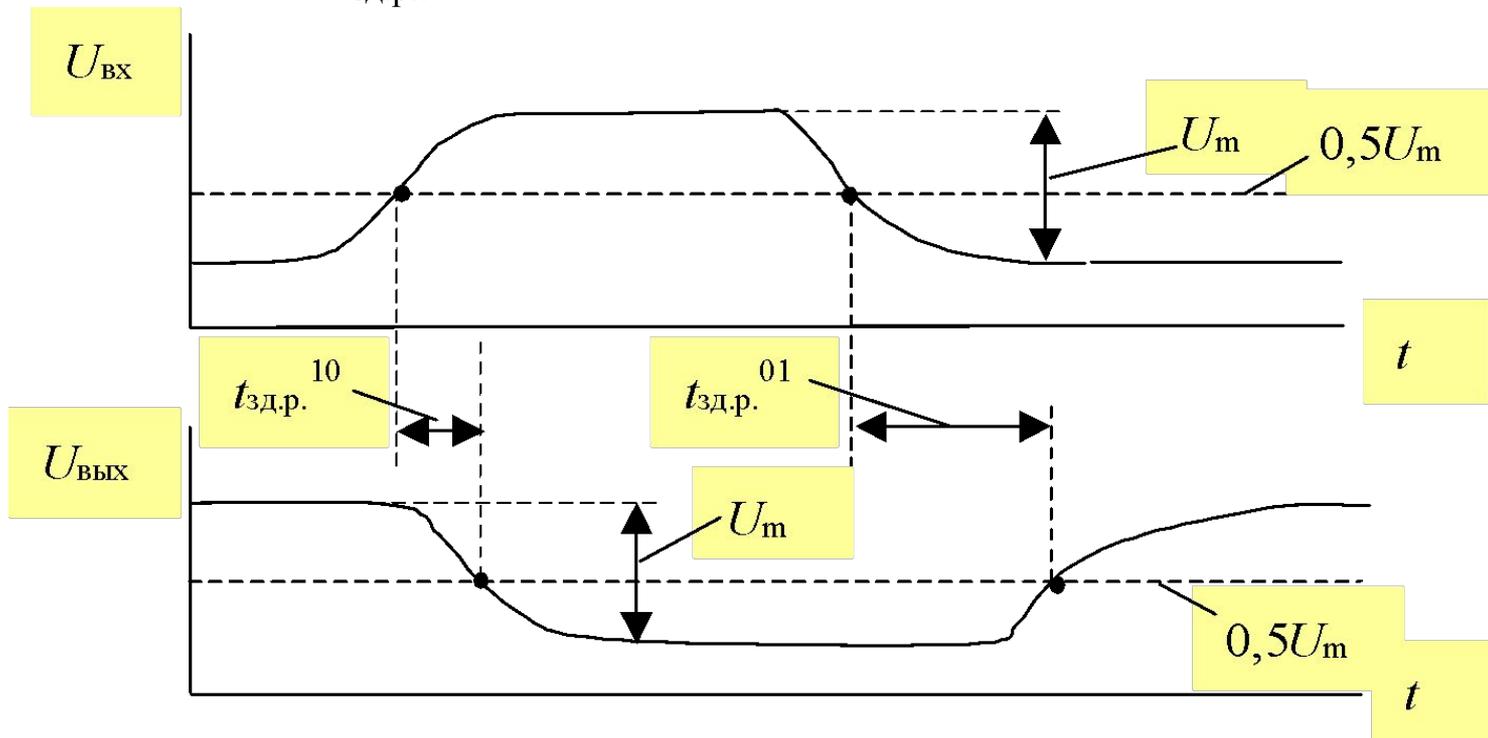
$$U_{\text{пом}}^- = U_{\text{вх}}^1 - U_{\text{пор}}^1.$$

Динамическая помехоустойчивость определяется экспериментально и для нее допустимое напряжение помехи тем больше, чем меньше ее длительность.



1. Классификация ЛЭ и их основные характеристики

Быстродействие логического элемента количественно оценивается средней задержкой распространения сигнала $t_{зд.р.ср.}$, которая определяется как среднее арифметическое задержек распространения сигнала при переходе элемента из состояния 1 в состояние 0 $t_{зд.р.}^{10}$ и при переходе из 0 в 1 $t_{зд.р.}^{01}$:



Задержки $t_{зд.р.}^{10}$ и $t_{зд.р.}^{01}$ определяются по уровню $0,5U_m$



1. Классификация ЛЭ и их основные характеристики

Потребляемая мощность логического элемента определяется как среднее арифметическое мощностей, потребляемых в состоянии 1 и в состоянии 0

$$P_{\text{пот.ср.}} = \frac{P_{\text{пот}}^1 + P_{\text{пот}}^0}{2} = \frac{I_{\text{пот}}^1 + I_{\text{пот}}^0}{2} \cdot U_{\text{и.п.}}$$

$P_{\text{пот}}^1, P_{\text{пот}}^0$ – мощности, потребляемые в состояниях 1 и 0

$I_{\text{пот}}^1, I_{\text{пот}}^0$ – токи, потребляемые логическим элементом в состояниях 1 и 0

$U_{\text{и.п.}}$ напряжение источника питания логического элемента

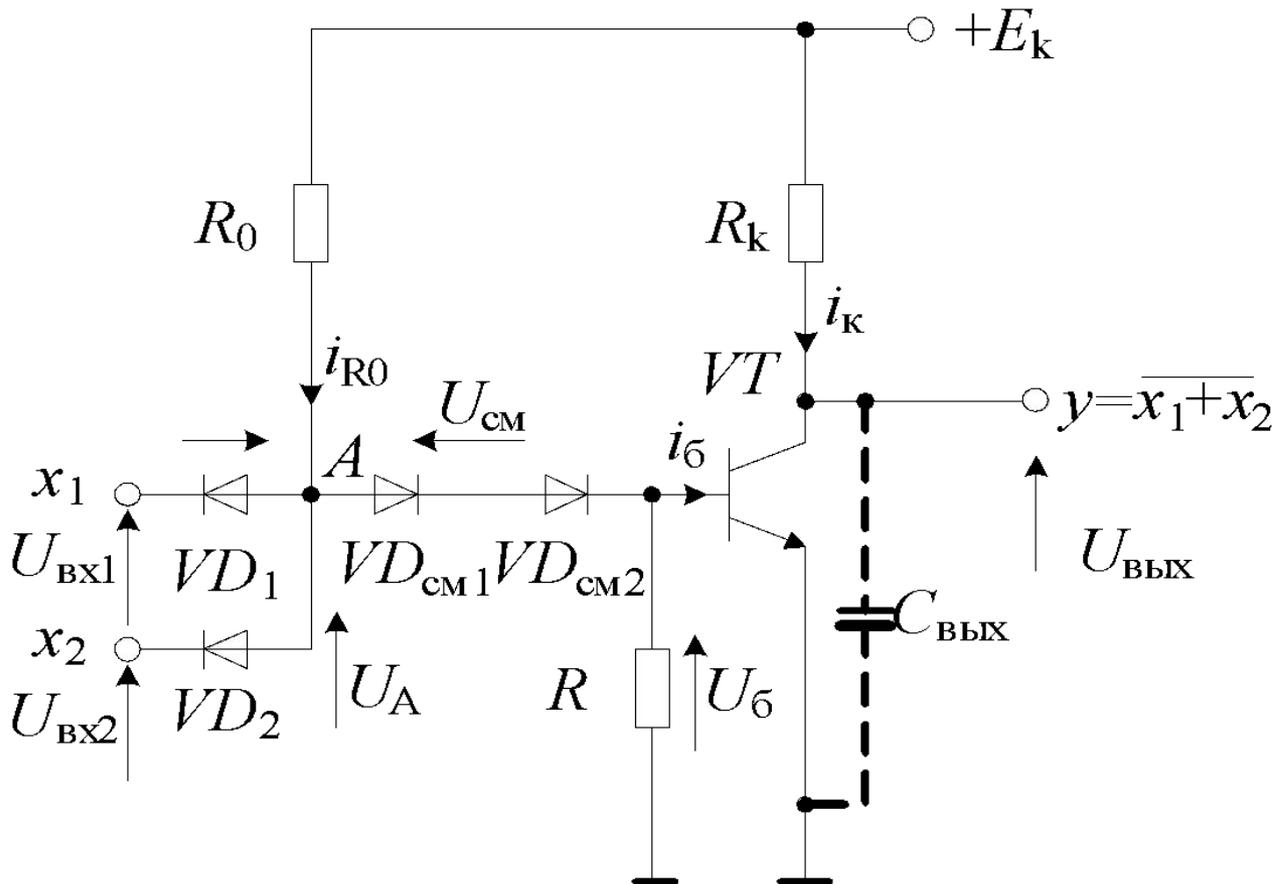
Нагрузочная способность численно оценивается **коэффициентом разветвления по выходу** $K_{\text{разв.}}$ который равен количеству входов аналогичных логических элементов, подключенных к выходу исследуемого элемента, при котором параметры элемента не выходят за пределы допустимых норм

Коэффициент разветвления по выходу $K_{\text{разв.}}$ характеризует логические возможности логического элемента, возможность ветвления схемы



2. Диодно-транзисторные и транзистор-транзисторные логические элементы

Диодно-транзисторными элементами называют логические элементы, выполняющие логическую функцию И-НЕ. Они состоят из диодной части, выполняющей логическую функцию логического умножения И, и транзисторной части, выполняющей логическую функцию НЕ



$$i_{\text{бпр}} = \frac{E_k - U_{\text{см}} - U_{60}}{R_0} - \frac{U_{60}}{R}$$

И-НЕ

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



2. Диодно-транзисторные и транзистор-транзисторные логические элементы

Основные свойства логического элемента

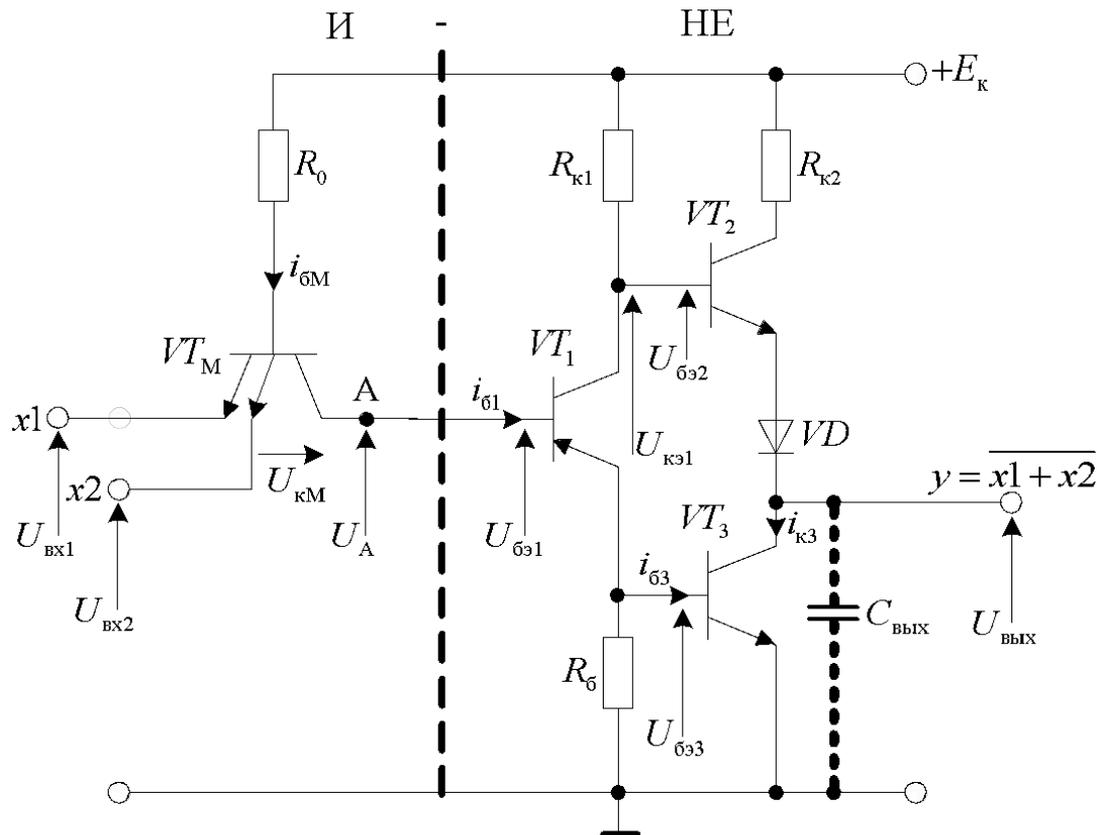
1. Технологическая простота.
2. Низкое быстродействие, обусловленное большим временем заряда выходной паразитной емкости $C_{\text{вых}}$ через сравнительно большое сопротивление $R_{\text{к}}$ при переключении логического элемента из состояния 0 в состояние 1.
3. Низкая нагрузочная способность, вызванная большим сопротивлением $R_{\text{к}}$. При нахождении логического элемента в состоянии логической 1 его выходной ток может оказаться меньше необходимого суммарного входного тока элементов нагрузки.

Из-за существенных недостатков логического элемента с простым выходным каскадом, состоящим из одного транзистора, подобные логические элементы промышленностью в настоящее время не выпускаются



2. Диодно-транзисторные и транзистор-транзисторные логические элементы

Транзисторно-транзисторными логическими элементами называют логические элементы, выполняющие логическую функцию И-НЕ. Но в отличие от элементов ДТЛ логическую функцию И в них выполняет многоэмиттерный транзистор (МЭТ)





2. Диодно-транзисторные и транзистор- -транзисторные логические элементы

Свойства логического элемента:

- Высокое быстродействие. Заряд и разряд паразитной выходной емкости $C_{вых}$ происходит через малое сопротивление открытых транзисторов VT_2 и VT_3 .
 - Высокая нагрузочная способность обусловленная низким выходным сопротивлением ЛЭ как в состоянии логического 0, так и в состоянии логической 1
- Высокая помехоустойчивость к статическим помехам, обусловленная высоким напряжением порога ЛЭ со сложным инвертором



2. Диодно-транзисторные и транзистор-транзисторные логические элементы

Сложный инвертор с высокой нагрузочной способностью и повышенной помехоустойчивостью

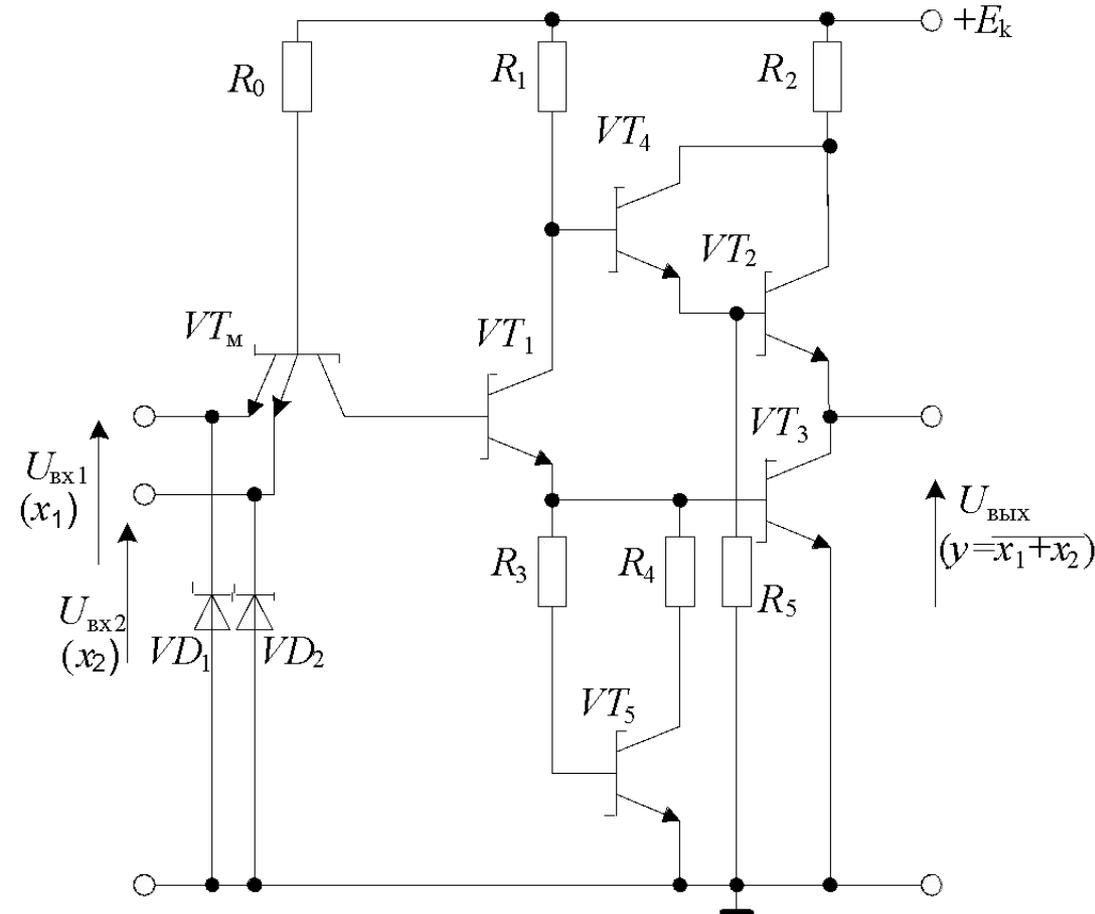


Рис. 5

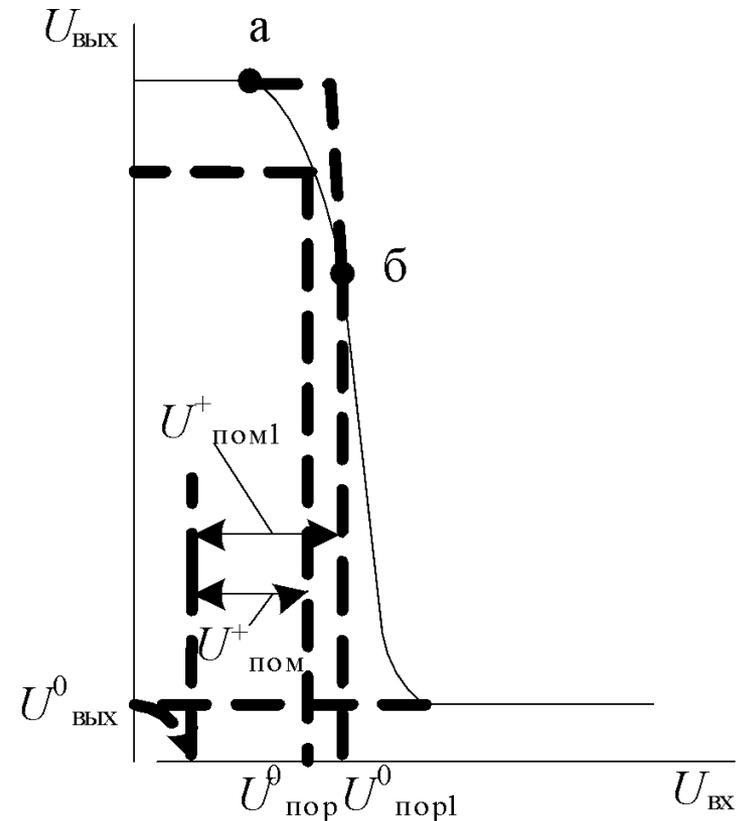


Рис. 6



3. Логические элементы на n -канальных МДП-транзисторах и комплементарных МДП-транзисторах

Ключ на n -канальных МДП-транзисторах

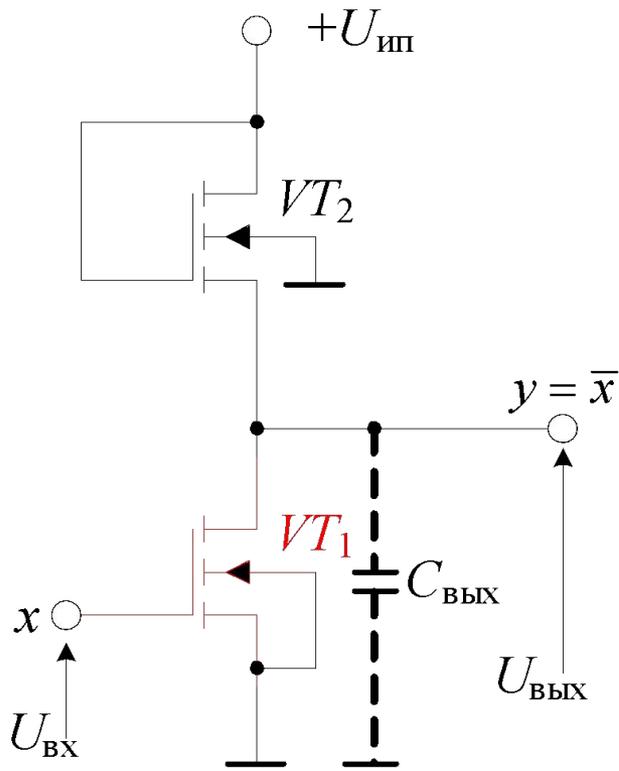


Рис. 1

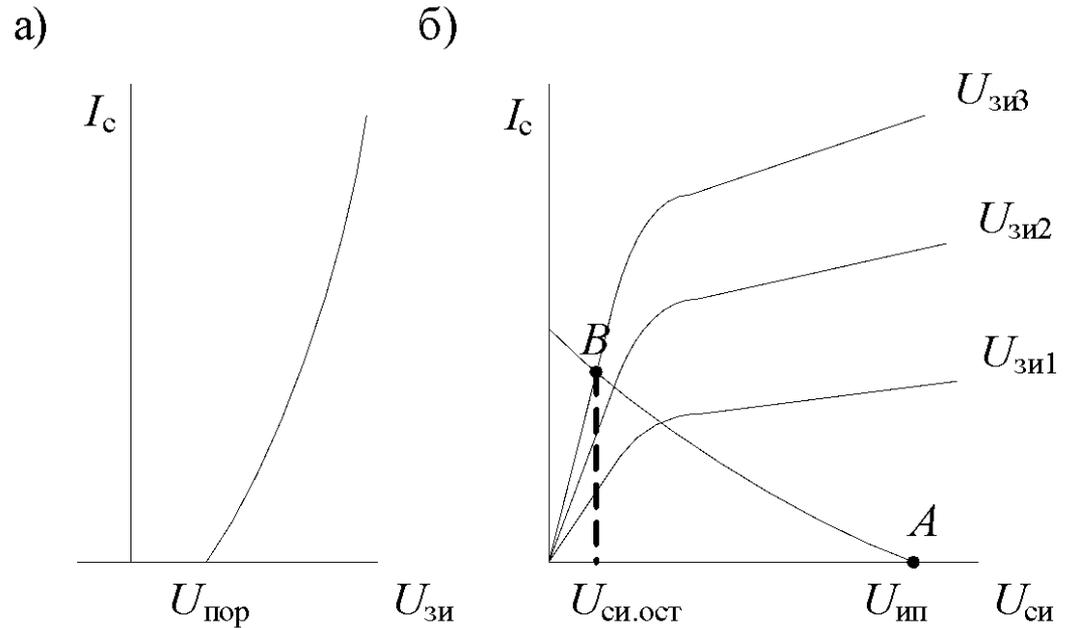


Рис. 2

$$U_{ВХ} = U_{си.ост} < U_{пор}$$

$$U_{ВХ} = U_{ВХ}^0 \quad (x=0)$$

$$U_{ВЫХ} \approx U_{ИП} \quad (y=1)$$



3. Логические элементы на n -канальных МДП-транзисторах и комплементарных МДП-транзисторах

Особенности логических элементов на n -канальных МДП-транзисторах:

- Такой инвертор широко используется во многих сериях цифровых ИМС.
- Его характеризует низкое быстродействие и высокая экономичность обусловленные высоким сопротивлением резистора нагрузки.
- Так как входной ток МДП-транзистора практически равен нулю, то подключение к выходу инвертора входов аналогичных элементов не изменяет уровней выходного сигнала. Нагрузочная способность инвертора ограничивается лишь снижением быстродействия из-за увеличения паразитной выходной емкости $C_{вых}$.



3. Логические элементы на n -канальных МДП-транзисторах и комплементарных МДП-транзисторах

Логический элемент ИЛИ-НЕ
на n -канальных МДП-транзисторах

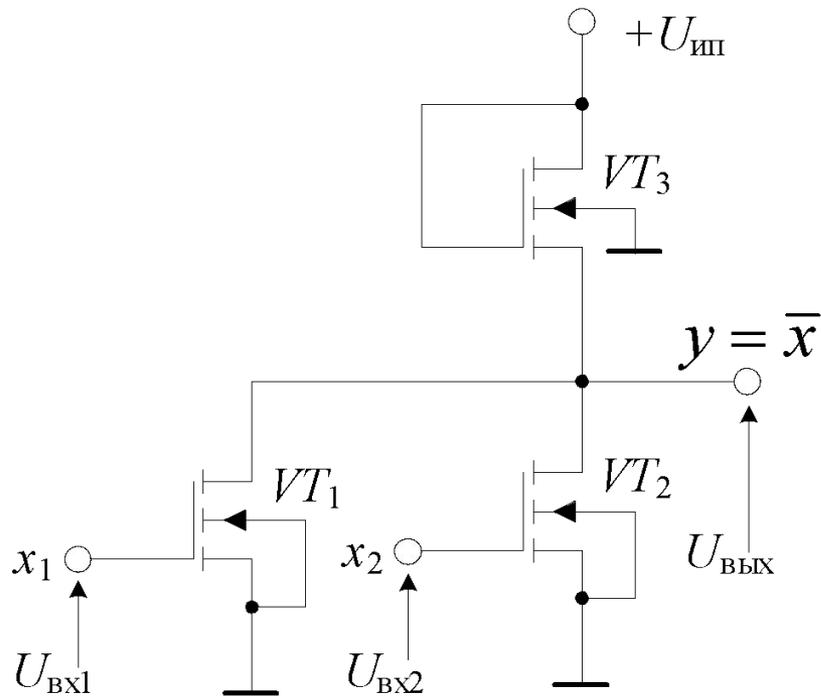


Рис. 3

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

Логический элемент И-НЕ
на n -канальных МДП-транзисторах

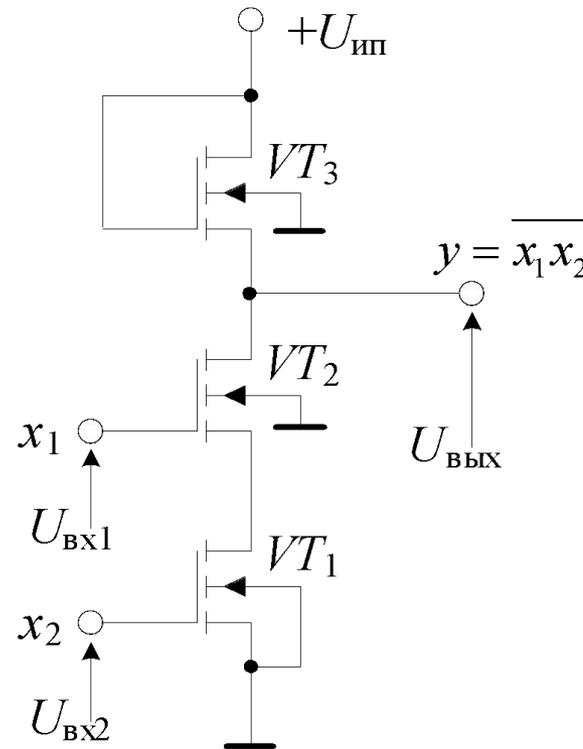


Рис. 4

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



3. Логические элементы на n -канальных МДП-транзисторах и комплементарных МДП-транзисторах

16

Особенности логических элементов на n -канальных МДП-транзисторах:

1. Высокая плотность размещения на подложке (отсутствие резисторов).
2. Большой коэффициент разветвления по выходу $K_{\text{раз}}$ (высокая нагрузочная способность), обусловленная высоким входным сопротивлением МДП-транзисторов.
3. Параллельное включение ключевых транзисторов в логическом элементе ИЛИ-НЕ приводит к росту паразитной выходной емкости $C_{\text{ВЫХ}}$ и как следствие к снижению быстродействия.
4. Последовательное включение ключевых транзисторов в логическом элементе И-НЕ ограничивает коэффициент объединения по входу $K_{\text{об}}$, так как при большом числе входов m (обычно $m > 2$) величина $U_{\text{ВЫХ}}^0 = m U_{\text{си.ост.}}$ может оказаться больше $U_{\text{пор}}$ и транзисторы нагрузки останутся открытыми.
5. Низкое быстродействие. Если разряд паразитной выходной емкости $C_{\text{ВЫХ}}$ при переключении из 1 в 0 осуществляется через малое сопротивление канала открытого ключевого транзистора, то ее заряд – через большое сопротивление нагрузочного транзистора



3. Логические элементы на n -канальных МДП-транзисторах и комплементарных МДП-транзисторах

Простой инвертор НЕ на комплементарных МДП-транзисторах

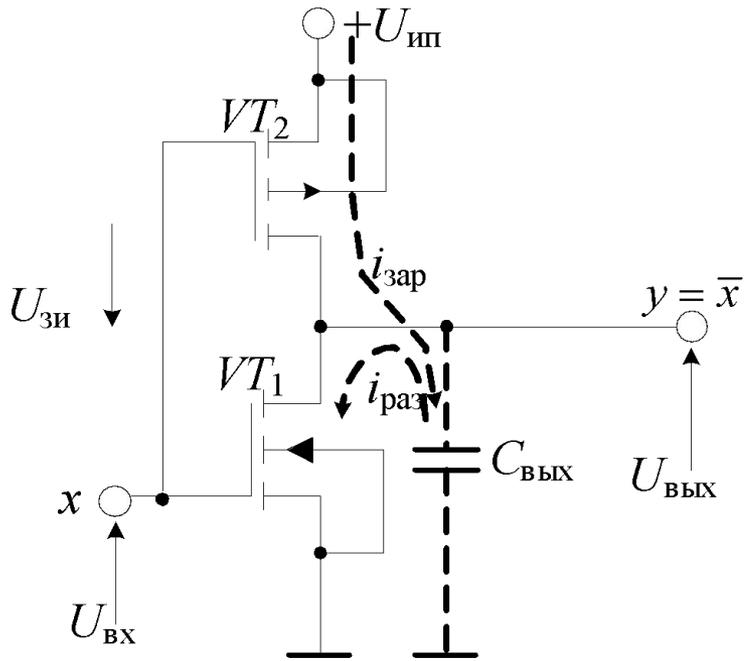


Рис. 5

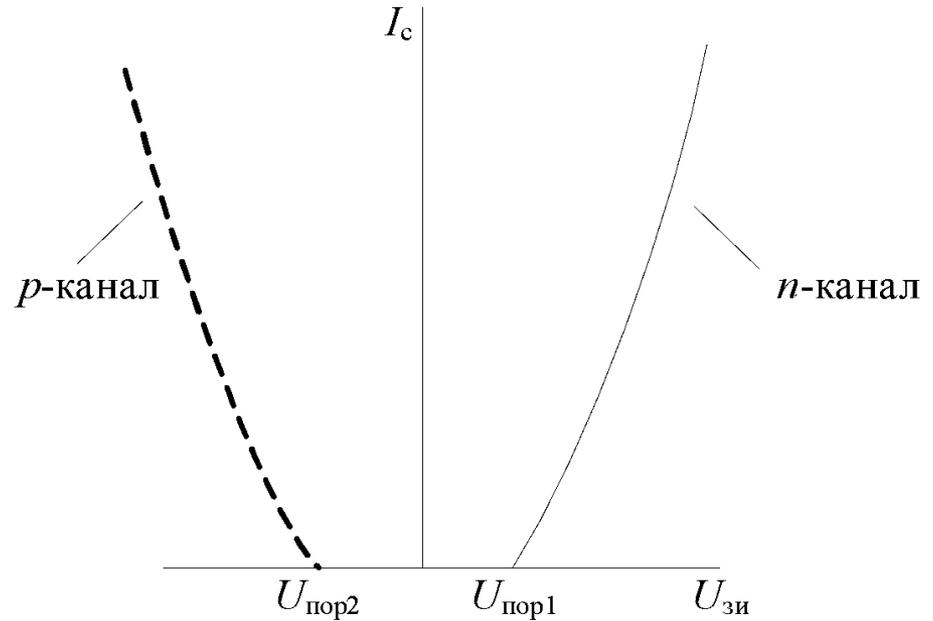


Рис. 6



3. Логические элементы на n -канальных МДП-транзисторах и комплементарных МДП-транзисторах

Логический элемент ИЛИ-НЕ на комплементарных МДП-транзисторах

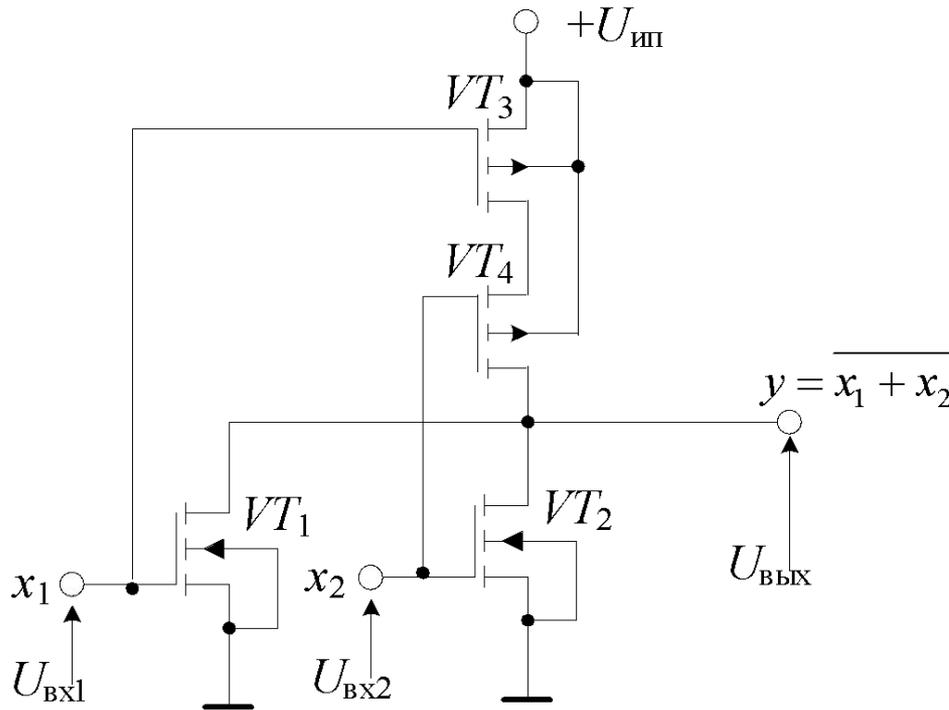


Рис. 7

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

Логический элемент И-НЕ на комплементарных МДП-транзисторах

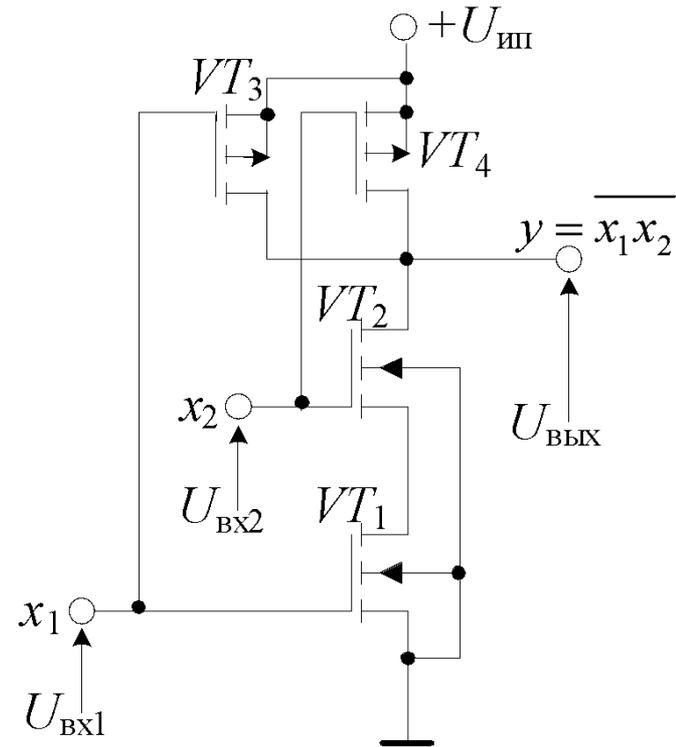


Рис. 8

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



3. Логические элементы на *n*-канальных МДП-транзисторах и комплементарных МДП-транзисторах

Основные свойства логических элементов на КМДП-транзисторах:

1. Высокое быстродействие. Заряд и разряд паразитной выходной емкости $C_{вых}$ проходит через один из открытых ключевых транзисторов.
2. Отсутствие энергопотребления в статическом состоянии, так как один из ключевых транзисторов закрыт и сквозной ток равен нулю. Мощность потребляется только при переключении из одного состояния в другое, когда, например, при переключении из 0 в 1 *n*-канальный транзистор еще не закрылся, а *p*-канальный транзистор – уже открыт. Очевидно потребляемая мощность тем больше, чем выше частота переключения.
3. Высокая нагрузочная способность, обусловленная высоким входным сопротивлением МДП-транзисторов.
4. Ограниченный коэффициент объединения по входу. Для логического элемента ИЛИ-НЕ это связано со снижением быстродействия из-за роста паразитной емкости $C_{вых}$ при параллельном включении *n*-канальных транзисторов, а для И-НЕ – с ростом $U_{0вых} = nU_{си.ост.}$, которое может оказаться больше $U_{пор}$. Здесь *n* – число входов логического элемента.



ЗАДАНИЕ НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ

20

1. Вычислительная техника и информационные технологии. /Под общ. ред. Н. П. Грачева. – СПб.: Военная академия связи. 2014. – 204с.: ил. С. 30–43, 44-49 .
2. Вычислительная техника и информационные технологии. /Под общ. ред. Н. П. Грачева. Электронное учебное пособие. – СПб.:– ВАС, 2016.

Дополнить конспекты



- «НЕ» (NOT) – функция отрицания (инверсии сигнала). Потому его чаще называют - «инвертор»

Самой распространённой микросхемой «транзисторно-транзисторной логики» (ТТЛ), выполняющей функцию «НЕ», является интегральная микросхема (ИМС) К155ЛН1, внутри которой имеется шесть элементов «НЕ».



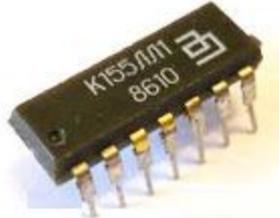
- «И» (AND) – функция сложения (если на всех входах единица, то на выходе будет единица, в противном случае, если хотя бы на одном входе ноль, то и на выходе всегда будет ноль). В алгебре-логике элемент «И» называют «конъюнктор».

Самой распространённой микросхемой «транзисторно-транзисторной логики» (ТТЛ), выполняющей функцию «2И», является интегральная микросхема (ИМС) К155ЛИ1, внутри которой имеется четыре элемента «2И».



«И-НЕ» (NAND) – функция сложения с отрицанием (если на всех входах единица, то на выходе будет ноль, в противном случае на выходе всегда будет единица)

Самой распространённой микросхемой ТТЛ, выполняющей функцию «2И-НЕ», является ИМС К155ЛАЗ, а микросхемами КМОП (комплементарный металлооксидный полупроводник) – ИМС К561ЛА7 и К176ЛА7, внутри которых имеется четыре элемента «2И-НЕ»



«ИЛИ» (OR) – функция выбора (если хотя бы на одном из входов – единица, то на выходе – единица, в противном случае на выходе всегда будет ноль). В алгебре-логике, элемент «ИЛИ» называют «дизъюнктор»

Самой распространённой микросхемой ТТЛ, выполняющей функцию «2ИЛИ», является ИМС К155ЛЛ1, внутри которой имеется четыре элемента «2ИЛИ»



- «ИЛИ-НЕ» (NOR) – функция выбора (если хотя бы на одном из входов – единица, то на выходе – ноль, в противном случае на выходе всегда будет единица). Как вы поняли, элемент «ИЛИ-НЕ» выполняет функцию «ИЛИ», а потом инвертирует его функцией «НЕ».

Самой распространённой микросхемой ТТЛ, выполняющей функцию «2ИЛИ-НЕ», является ИМС К155ЛЕ1, а микросхемами КМОП – К561ЛЕ5 и К176ЛЕ5, внутри которых имеется четыре элемента «2ИЛИ-НЕ»