

# Общие сведения об электронных ключах

*Для обеспечения работы импульсных устройств и получения импульсных колебаний необходимо осуществлять коммутацию нелинейного элемента (замкнуть, разомкнуть).*

*Такой режим работы нелинейного элемента называется ключевым, а устройство, в состав которого входит данный нелинейный элемент - электронным ключом*

*Электронным ключом называется устройство, которое под воздействием управляющих сигналов осуществляет коммутацию электрических цепей бесконтактным способом*

# Общие сведения об электронных ключах

## Классификация

**По виду коммутирующего ИЯ элемента:**

- ❖ диодные;
- ❖ транзисторные;
- ❖ тринисторные, динисторные;
- ❖ электровакуумные;
- ❖ газонаполняемые (тиратронные);
- ❖ оптронные.

**По способу управления.**

- с внешним управляющим сигналом (внешним по отношению к коммутируемому сигналу);
- без внешнего управляющего сигнала (сам коммутируемый сигнал и является управляющим)

**По состоянию электронного ключа в открытом положении.**  
• насыщенный (электронный ключ открыт до насыщения);  
• ненасыщенный (электронный ключ находится в открытом режиме).

**По способу включения коммутирующего элемента по отношению к нагрузке:**

□ последовательные ключи;

□ параллельные ключи.

**По виду коммутируемого сигнала.**

□ ключи напряжения;

□ ключи тока.

**По характеру перепадов входного и выходного напряжений.**

✓ повторяющие;

✓ инвертирующие

**По количеству входов.**

• одноходовые;

• многоходовые

# Общие сведения об электронных ключах

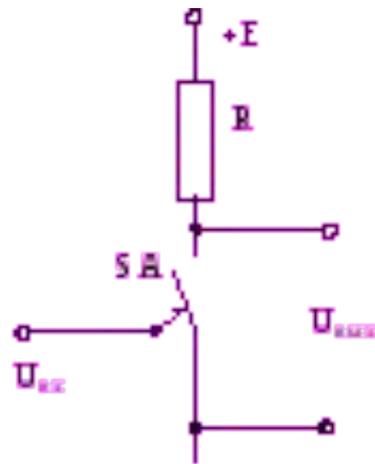
## Состав электронного

### ключа

□ непосредственно нелинейный элемент (коммутирующий элемент);

□ цепи питания;

□ нагрузка.



# Основные характеристики электронных

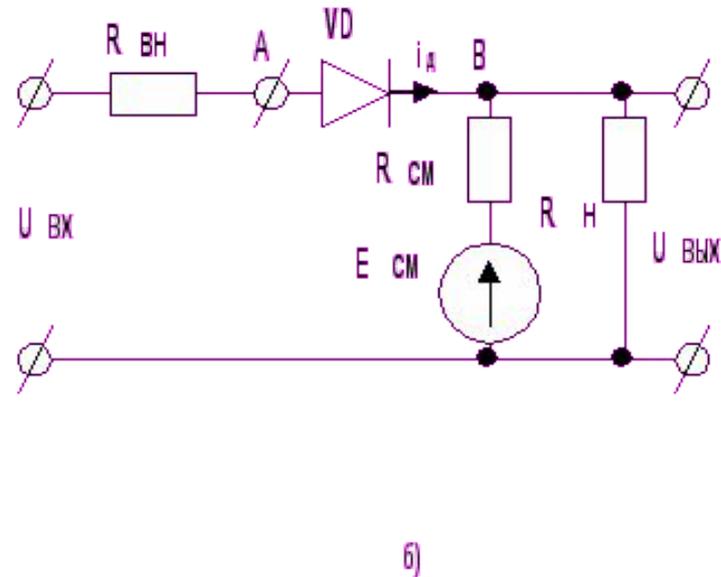
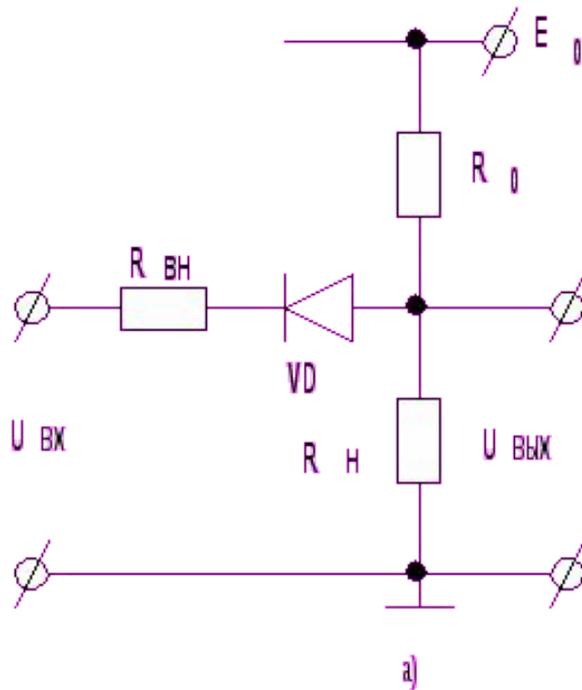
## ключей

- ❖ Передаточная характеристика.
- ❖ Быстродействие электронного ключа - время переключения электронного ключа.
- ❖ Сопротивление в разомкнутом состоянии  $R_{\text{выкл разом}}$  и сопротивление в замкнутом состоянии  $R_{\text{вкл зам.}}$
- ❖ Остаточное напряжение  $U_{\text{ост}}$ .
- ❖ Пороговое напряжение, т.е. напряжение, когда сопротивление электронного ключа резко меняется.
- ❖ Чувствительность - минимальный перепад сигнала, в результате которого происходит бесперебойное переключение электронного ключа.
- ❖ Помехоустойчивость - чувствительность электронного ключа к воздействию импульсов помех.
- ❖ Падение напряжения на электронном ключе в открытом состоянии.
- ❖ Ток утечки в закрытом состоянии.

# Диодные ключи

**Диодный ключ это электронный ключ, в качестве коммутирующего элемента в котором используется**

**диод**. В состав диодного ключа входят диод, сопротивление ограничения, дополнительный источник смещения



# Транзисторные ключи

**Транзисторный ключ это электронный ключ, в качестве коммутирующего элемента в котором используется**

**транзистор**  
**Транзисторные ключи предназначены для коммутации цепей нагрузки**

## Классификация транзисторных ключей.

По виду нелинейного элемента.

**Птранзисторные ключи на биполярных транзисторах;**

**Птранзисторные ключи на полевых транзисторах.**

По схеме включения (для схем транзисторных ключей на биполярных транзисторах).

- ❖ **схемы транзисторных ключей с общим эмиттером;**
- ❖ **схемы транзисторных ключей с общим коллектором;**
- ❖ **схемы транзисторных ключей с общей базой;**
- ❖ **схемы транзисторных ключей ключ-звезда.**

По состоянию транзистора в открытом состоянии.

**онасыщенный (схемы транзисторных ключей с внешним смещением; схемы транзисторных ключей с ускоряющим конденсатором).**

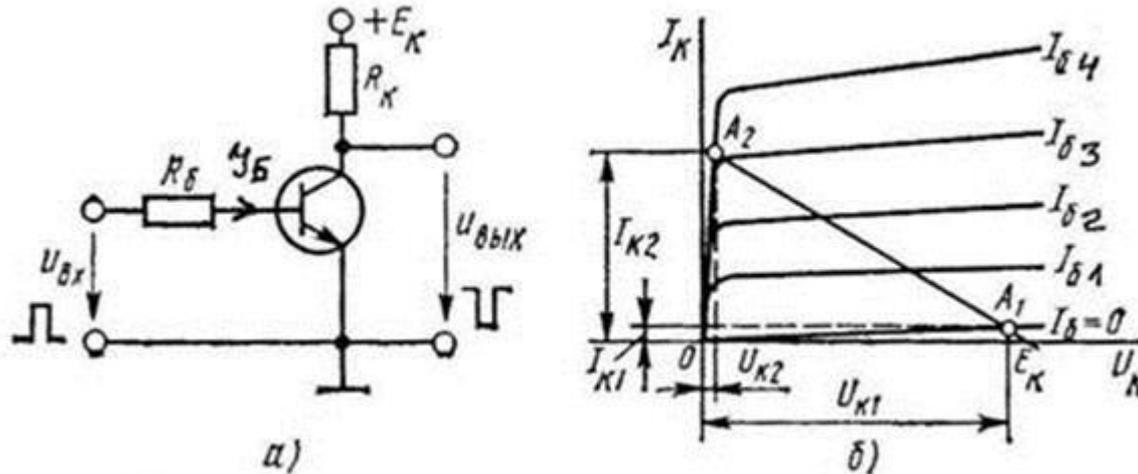
**оненасыщенный (схемы транзисторных ключей с диодной фиксацией (нелинейной отрицательной обратной связью)).**

По включению сопротивления нагрузки в цепь транзисторного ключа.

- **последовательные схемы транзисторных ключей.**
- **параллельные схемы транзисторных ключей.**

# Транзисторные ключи

## *Типовые схемы транзисторных ключей*



**Транзисторный ключ состоит из коммутирующего прибора, нагрузки, источника питания**

### Принцип действия транзисторных ключей

**Транзистор работает в ключевом режиме (режим большого сигнала), и может находиться в двух устойчивых состояниях:**

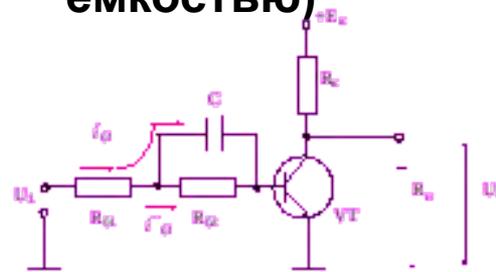
- ❖ **закрытом состоянии, (режиме отсечки);**
- ❖ **открытом состоянии. (режиме насыщения).**

**Активный режим имеет место при переходе из одного статического режима в другой**

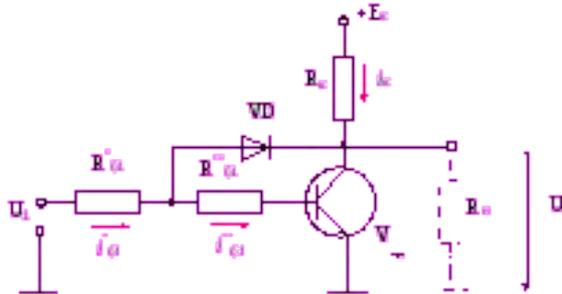
# Транзисторные ключи

## *Типовые схемы транзисторных ключей*

**Транзисторный ключ с ускоряющим конденсатором (с форсирующей емкостью)**



**Транзисторный ключ с нелинейной отрицательной обратной связью**



# Транзисторные ключи

## Параметры транзисторных ключей

- Быстродействие - определяется временем включения и временем выключения транзисторного ключа, т.е. временем его переключения.
- Пороговое напряжение - значение входного напряжения при котором сопротивление транзисторного ключа резко меняется.
- Помехоустойчивость - максимальная величина входного напряжения, при котором транзисторный ключ еще не срабатывает.
- Сопротивление во включенном и выключенном состоянии.
- Остаточное напряжение на транзисторе.

# Транзисторные ключи

## Элемент «НЕ» (инвертор)

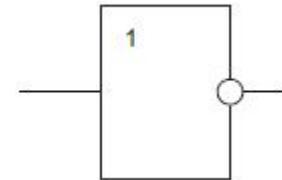
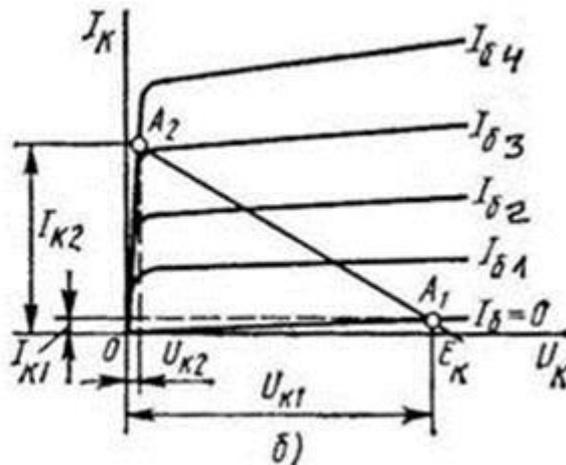
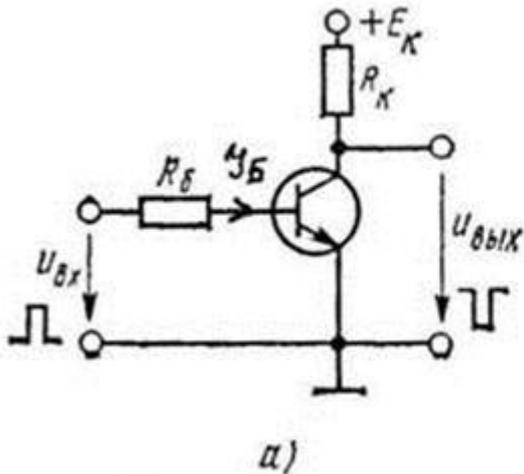
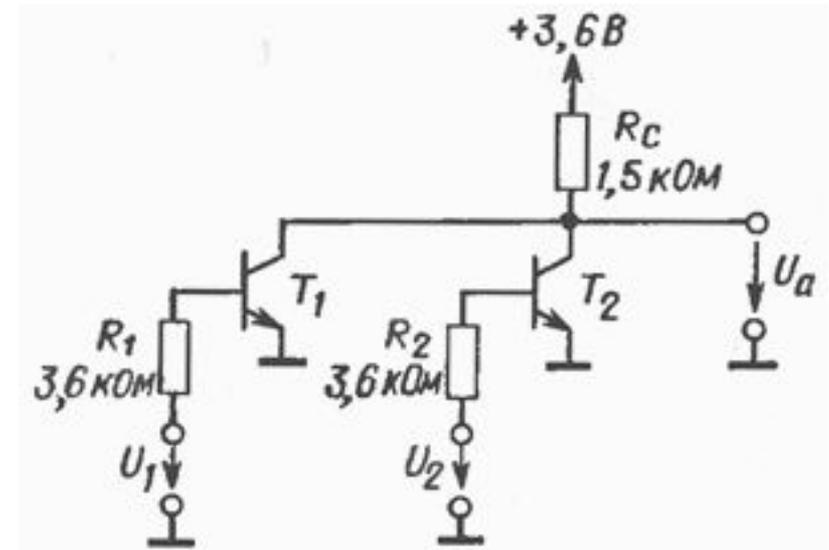
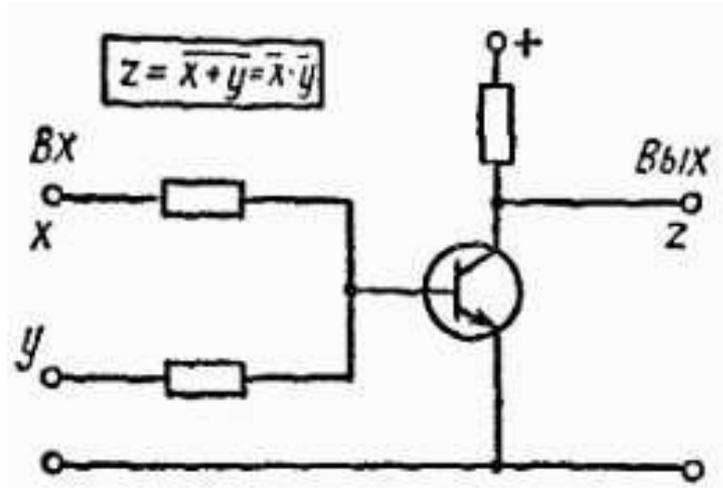


Таблица истинности  
логического элемента  
"НЕ"

Входы	Выходы
X1	Q1
1	0
0	1

# Логические элементы

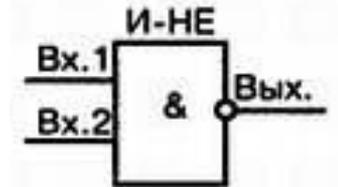
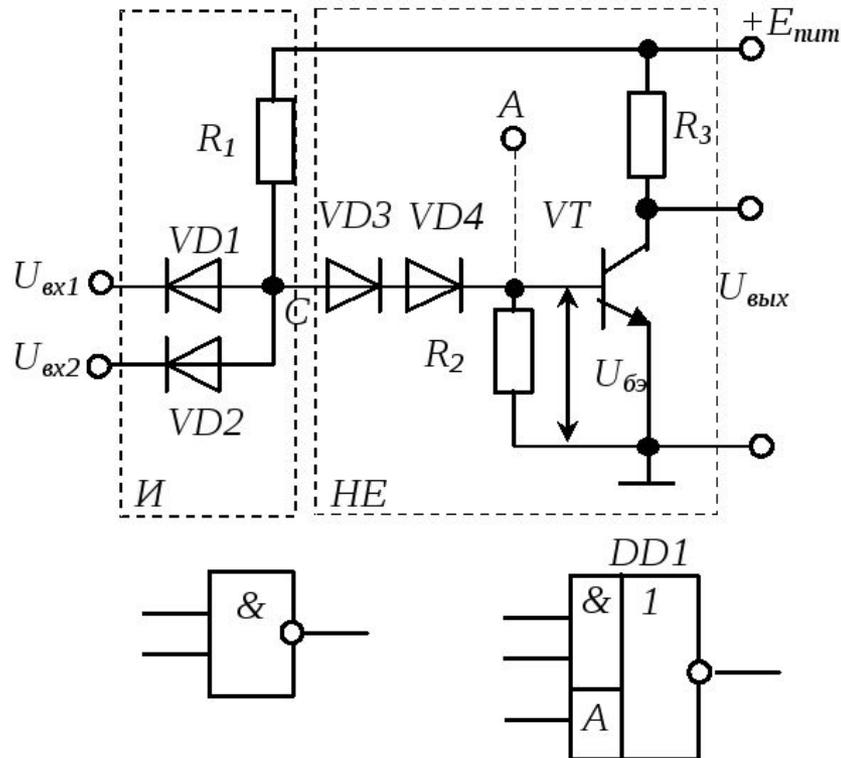
## Резисторно-транзисторная логика



**Простейшим элементом РТЛ является схема ИЛИ-НЕ. Если входное напряжение имеет высокий уровень, то соответствующий транзистор открывается и на выходе формируется низкий уровень**

# Логические элементы

## ДИОДНО-ТРАНЗИСТОРНАЯ ЛОГИКА (ДТЛ)

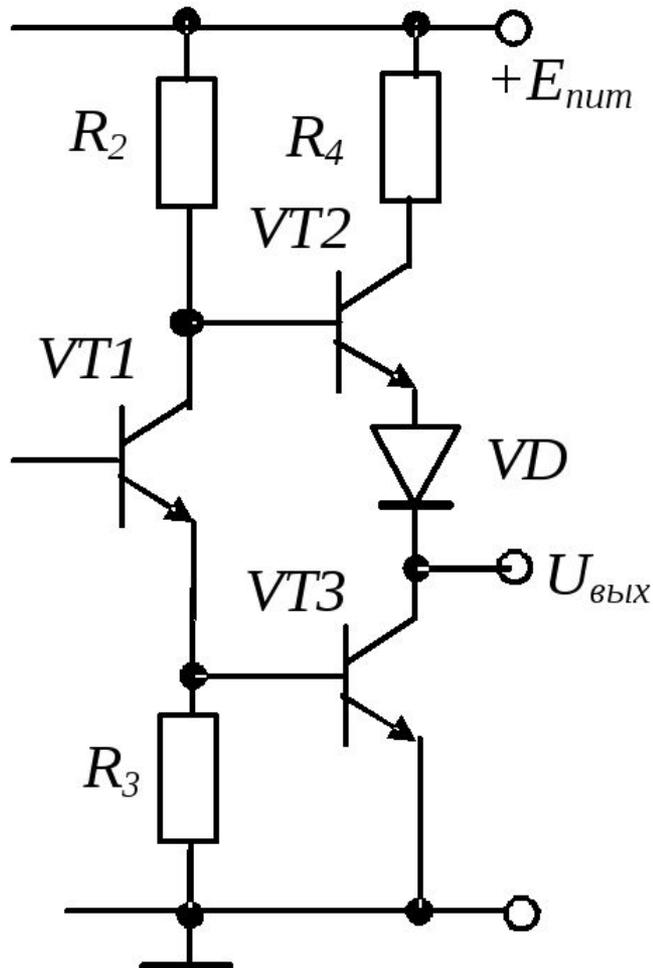


Вх.1	Вх.2	Вых.
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

**В схеме ДТЛ базовый ток выходного транзистора проходит через резистор только в том случае, если заперты оба входных диода т.е. если все входные напряжения имеют высокий уровень.**

# Логические элементы

## ДИОДНО-ТРАНЗИСТОРНАЯ ЛОГИКА (ДТЛ)



Существенным недостатком ранее рассмотренной схемы является зависимость уровня логической 1 на выходе от величины нагрузки.

Этот недостаток устраняется при использовании вместо простого инвертора сложного инвертора, схема которого приведена

# Логические элементы

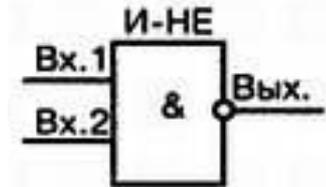
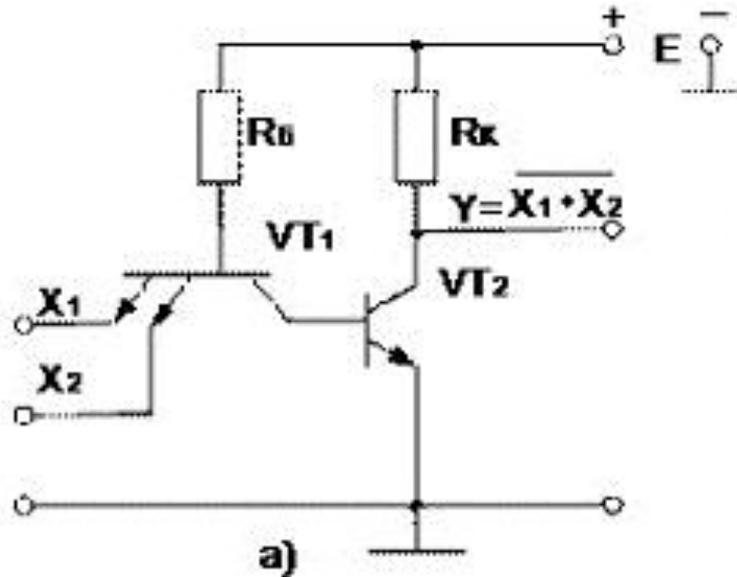
## ДИОДНО-ТРАНЗИСТОРНАЯ ЛОГИКА (ДТЛ)

К недостаткам микросхем логических элементов типа ДТЛ можно отнести:

- поскольку в интегральном исполнении диоды реализуются в виде транзисторных структур, то это требует использования большой площади кристалла микросхемы;
- относительно низкое быстродействие, объясняемое использованием диодов, являющихся пассивными элементами.

# Логические элементы

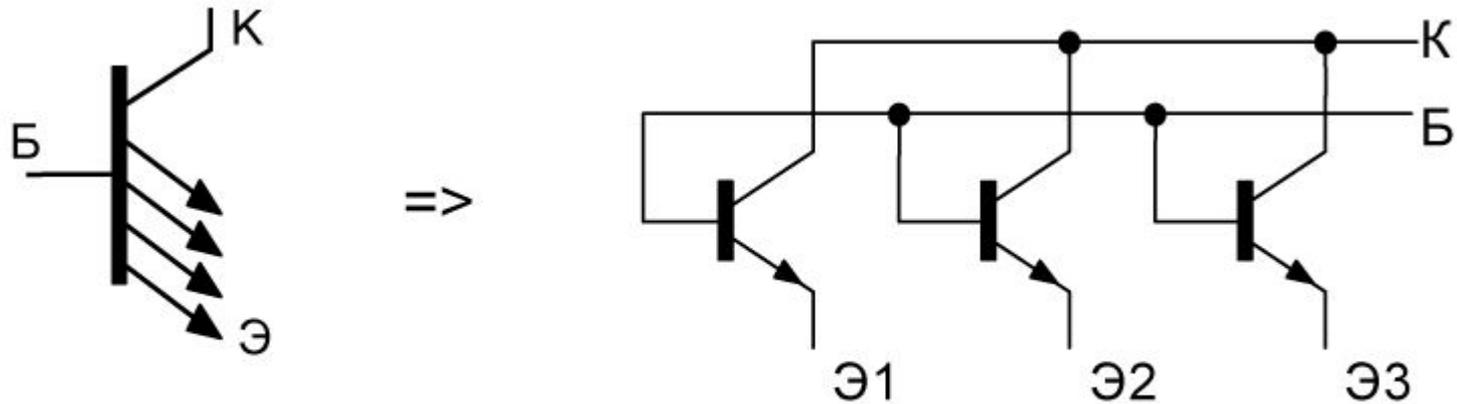
## ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНЗИСТОРНАЯ ЛОГИКА (ТТЛ)



Вх.1	Вх.2	Вых.
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

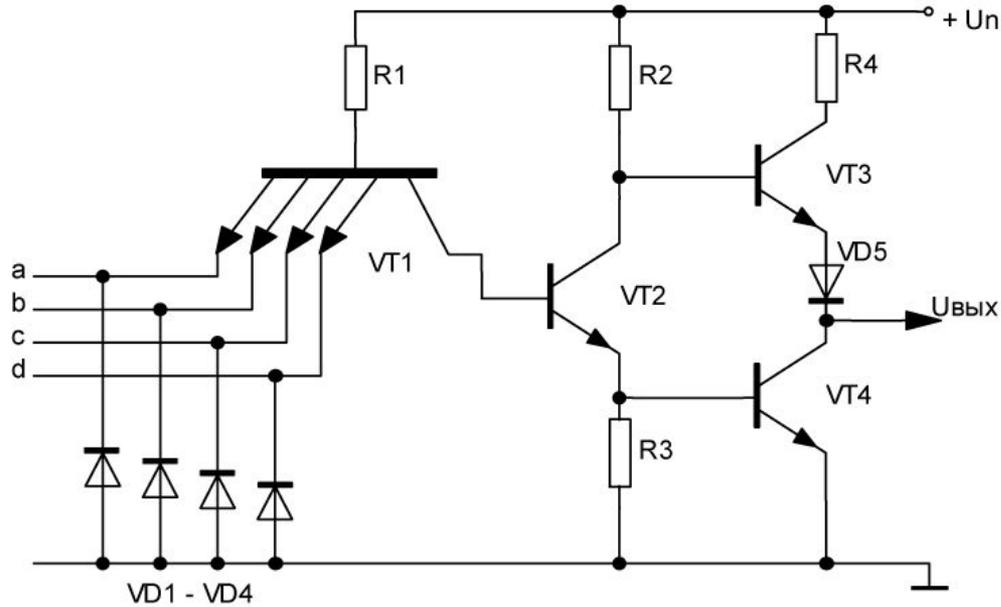
***В схеме ТТЛ применен многоэмиттерный транзистор***

# Логические элементы ТТЛ



Основная особенность ИС ТТЛ состоит в том, что во входной цепи используется специфический интегральный прибор – многоэмиттерный транзистор – он имеет несколько эмиттеров, объединенных общей базой

# Логические элементы ТТЛ



Базовый элемент И-НЕ типа ТТЛ, схема которого приведена на рис, как и рассмотренная ранее схема базового элемента ДТЛ, состоит из двух последовательно включенных функциональных узлов: схемы, выполняющей операцию И, и схемы инвертора.

# Логические элементы ТТЛ

- **Коэффициент объединения по входу  $K_{об}$**  — число входов, с помощью которых реализуется логическая функция.
- **Коэффициент разветвления по выходу  $K_{раз}$**  показывает, какое число логических входов устройств этой же серии может быть одновременно присоединено к выходу данного логического элемента.
- **Быстродействие** характеризуется временем задержки распространения сигналов через ЛЭ и определяется из графиков зависимости от времени входного и выходного сигналов.

Различают время задержки распространения сигнала при включении ЛЭ  $t_{зд.р}^{1,0}$ , время задержки сигнала при выключении  $t_{зд.р}^{0,1}$  и среднее время задержки распространения  $t^{1,0}$

# Логические элементы ТТЛ

- **Напряжение высокого  $U^1$  и низкого  $U^0$  уровней** (входные  $U^1_{вх}$  и выходные  $U^0_{вых}$ ) и их допустимая нестабильность. Под  $U^1$  и  $U^0$  понимают номинальные значения напряжений «Лог.1» и «Лог.0»; нестабильность выражается в относительных единицах или в процентах.
- **Пороговые напряжения высокого  $U^1_{пор}$  и низкого  $U^0_{пор}$  уровней.** Под пороговым напряжением понимают наименьшее ( $U^1_{пор}$ ) или наибольшее ( $U^0_{пор}$ ) значение соответствующих уровней, при котором начинается переход логического элемента в другое состояние. Эти параметры определяются с учётом разброса параметров соответствующей серии в рабочем диапазоне температур; в справочниках часто приводится одно усреднённое значение  $U_{пор}$ .
- **Входные токи  $I^0_{вх}$ ,  $I^1_{вх}$**  соответственно при входных напряжениях низкого и высокого уровней.

# Логические элементы ТТЛ

— **Помехоустойчивость.** Статическая помехоустойчивость оценивается по передаточным характеристикам логического элемента как минимальная разность между значениями выходного и входного сигналов относительно порогового значения с учётом разброса параметров в диапазоне рабочих температур:

$$U_{\text{ПОМ}}^- = U_{\text{вых.min}}^1 - U_{\text{ПОР}}$$

$$U_{\text{ПОМ}}^+ = U_{\text{ПОР}} - U_{\text{вых.min}}^0$$

— **Потребляемая мощность**  $P_{\text{пот}}$  или ток потребления  $I_{\text{пот}}$

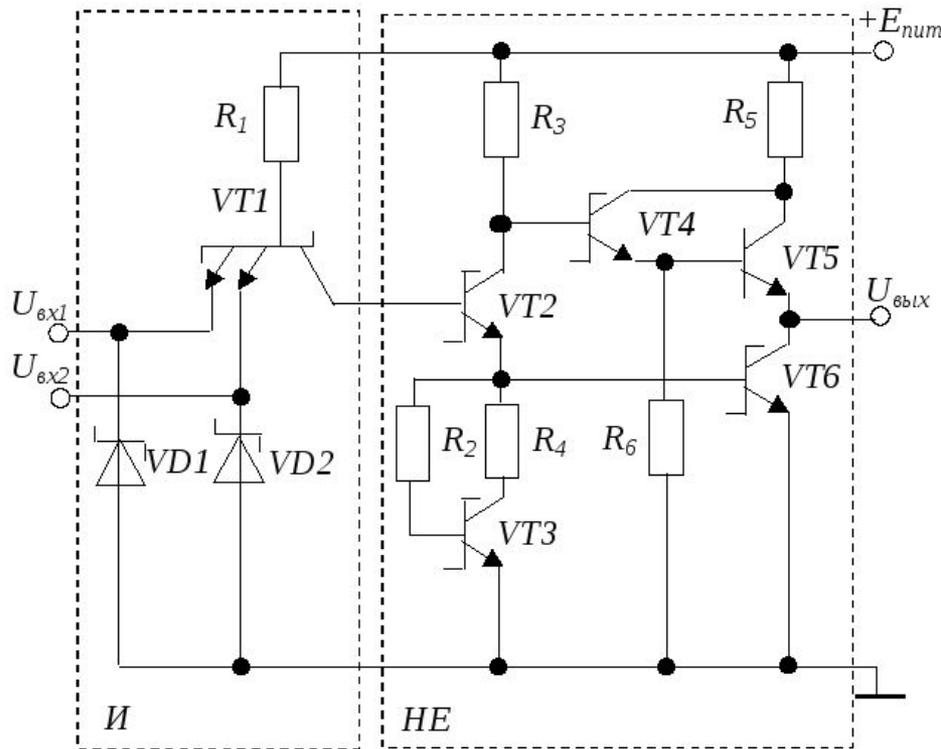
— **Энергия переключения** — работа, затрачиваемая на выполнение единичного переключения. Это интегральный параметр, используемый для сравнения между собой микросхем различных серий и технологий. Он находится как произведение потребляемой мощности и среднего времени задержки распространения сигнала.

# Логические элементы ТТЛ

Типовые параметры выпускаемых промышленностью серий логических элементов типа ТТЛ, среди которых можно назвать К133, К155 и др., имеют следующие значения:

- допустимый уровень статической помехи  $0,6 В$ ;
- коэффициент объединения по входам до 8;
- коэффициент разветвления по выходу до 10, специальные микросхемы с мощными выходными каскадами имеют коэффициент разветвления по выходу до 30;
- время задержки распространения ;
- максимальная рабочая частота до  $10 МГц$ ;

# Логические элементы ТТЛШ

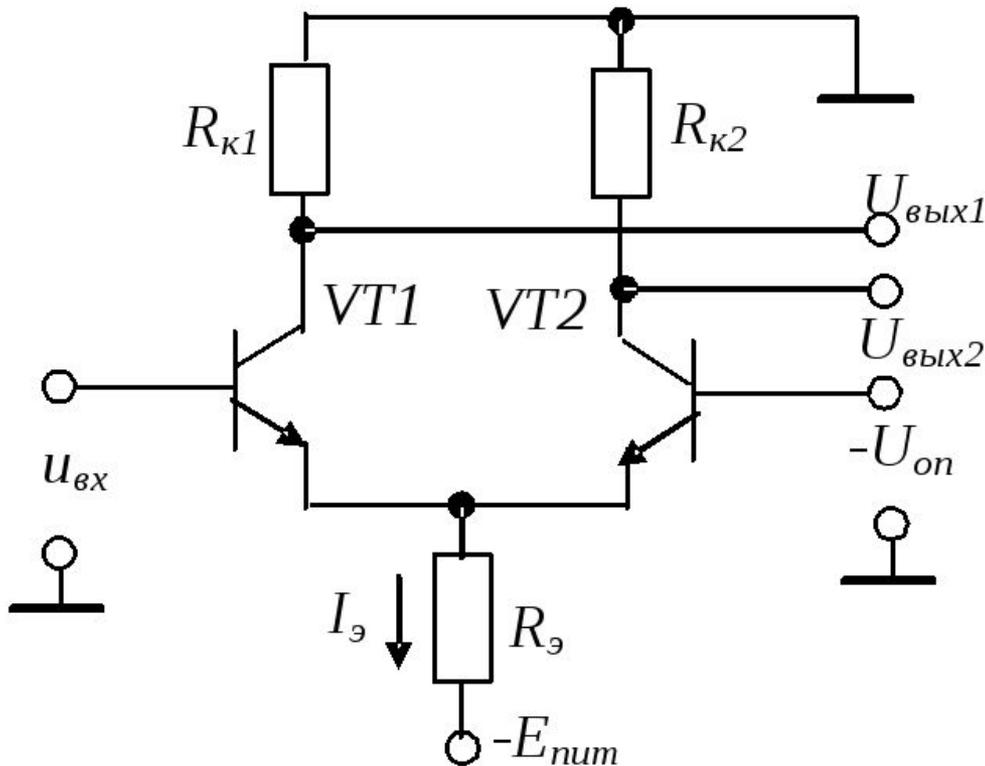


Для увеличения быстродействия элементов ТТЛ используются транзисторы с диодами Шоттки (транзисторы Шоттки).

Быстродействующие микросхемы ТТЛШ серий К531, К153, К130, К131 обеспечивают время задержки распространения, максимальную рабочую частоту до  $50 \text{ МГц}$  при потребляемой мощности до  $40 \text{ мВт}$ . Маломощные микросхемы ТТЛШ серий К555, К1533, К134, К734 имеют потребляемую мощность до  $2 \text{ мВт}$  при задержке распространения до  $4 \text{ нС}$ .

# Логические элементы ЭСЛ

Основой базового логического элемента ЭСЛ является переключатель тока



микросхемы ЭСЛ питаются отрицательным напряжением. На базу транзистора  $VT2$  подано отрицательное постоянное опорное напряжения . Изменение входного напряжения приводит к перераспределению постоянного тока, заданного  $R_9$ , между транзисторами, что имеет следствием

# Логические элементы ЭСЛ

Типовые параметры выпускаемых промышленностью серий логических элементов типа ЭСЛ, среди которых можно назвать серии 100, 137, 138, 187, 500, 700, 1500, имеют следующие значения:

- допустимый уровень статической помехи  $0,8 V$ ;
- коэффициент объединения по входам до 12;
- коэффициент разветвления по выходу до 15, специальные микросхемы имеют коэффициент разветвления по выходу до 100;
- время задержки распространения ;
- максимальная рабочая частота до  $550 МГц$ ;

# Интегральная инжекционная логика

Интегральная инжекционная логика (ИИЛ или И<sup>2</sup>Л) построена на использовании биполярных транзисторов и применении оригинальных схемотехнических и технологических решений. Для нее характерно очень экономичное использование площади кристалла полупроводника.

Элементы ИИЛ могут быть реализованы только в интегральном исполнении и не имеют аналогов в дискретной схемотехнике.

# Интегральная инжекционная логика

Микросхемы ИИЛ, к которым, например, относятся микропроцессорные комплекты 583, 584, обладают следующими достоинствами:

- обеспечивается высокая степень интеграции;
- при малом напряжении питания ( $1\text{ В}$ ) обеспечивается достаточный логический перепад ( $0,05\text{--}0,85\text{В}$ );
- малая потребляемая мощность;
- достаточно высокое быстродействие (частота переключения – до десятков МГц);

# Базовые логические элементы на униполярных транзисторах

Основой для построения микросхем логических элементов на транзисторах  $n$ -МОП и  $p$ -МОП типа являются соответствующие цифровые ключи

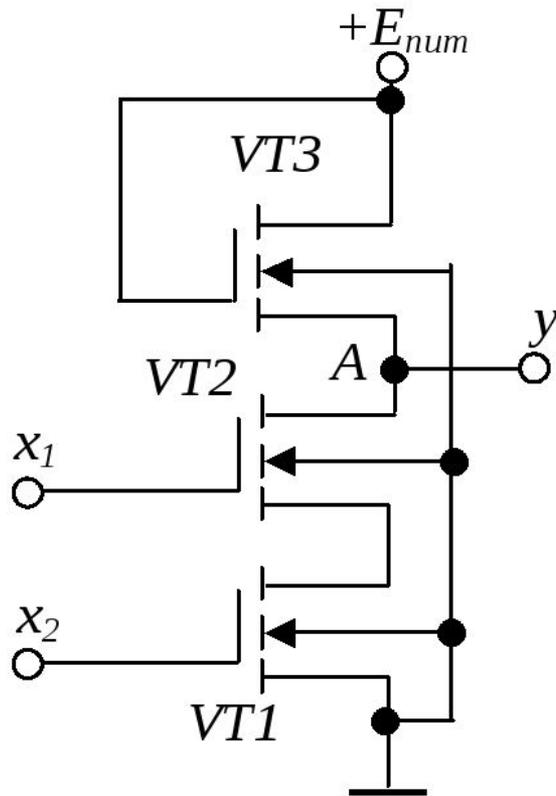


Схема логического элемента И-НЕ на одностипных МОП-транзисторах с индуцированным каналом  $n$ -типа приведена на рис.

Основные транзисторы  $VT1$  и  $VT2$  включены последовательно.

Транзистор  $VT3$  исполняет роль динамической нагрузки.

Для существенного уменьшения потребления мощности логическим элементом в статическом состоянии используются комплементарные МОП логические элементы. Комплементарный ключ фактически является элементом НЕ (инвертором).

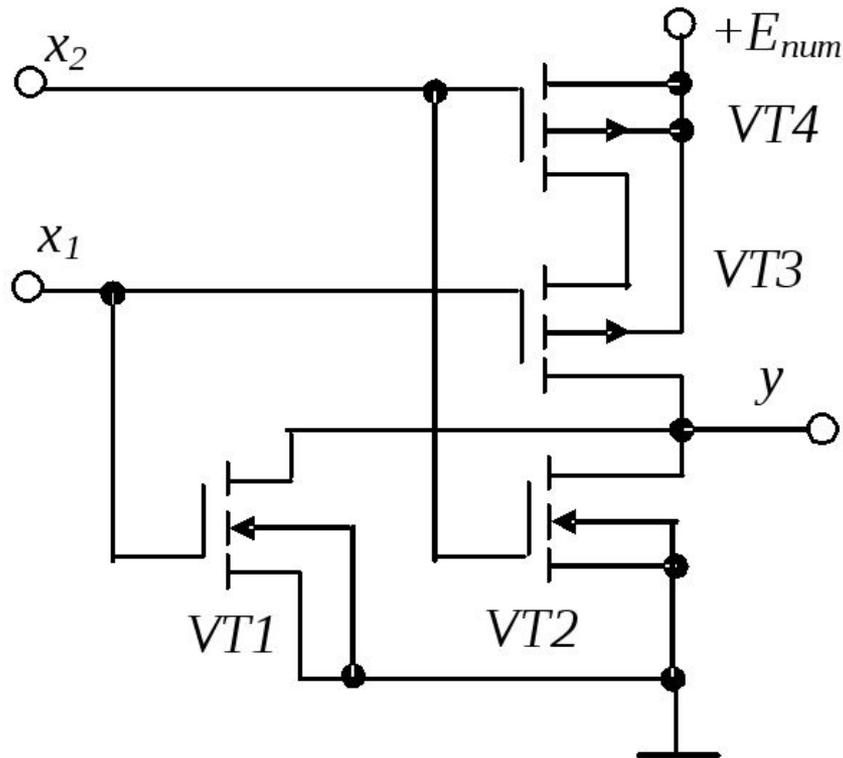


Схема логического элемента, реализующего функцию ИЛИ-НЕ на КМОП-транзисторах

достоинствами КМОП-микросхем являются:

- малая потребляемая мощность в статическом режиме (до  $0,01 \text{ мВт}$ ), при существенном увеличении потребляемой мощности в динамическом режиме (при частоте переключения  $1 \text{ МГц}$  – больше  $1 \text{ мВт}$ );
- большой диапазон напряжений питания (от  $3$  до  $15 \text{ В}$ );
- достаточно большой логический перепад;
- очень высокое входное сопротивление;
- большая нагрузочная способность (коэффициент разветвления по выходу – до  $100$ ).

Общими недостатками МОП и КМОП схем является сравнительно малое быстродействие и чувствительность к статическому электричеству. В связи с последним недостатком у этих микросхем нельзя оставлять свободными неиспользуемые входы