

**Федеральное агентство по образованию
Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

С.Н. Охулков

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

**Кафедра “Теоретическая и общая
электротехника”**

**Для студентов электротехнических
специальностей всех форм обучения**

Автозаводская высшая школа управления и технологий

Очная и заочная форма обучения

- Автомобили и автомобильное хозяйство
- Автомобиле- и тракторостроение
- Технология машиностроения

г. Нижний Новгород, ул. Лескова, 68, т. (831) 256-02-10

Тема 8

ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Цифровые логические элементы

Цифровые логические элементы на интегральных микросхемах (ИМС) —

это микроэлектронные изделия, предназначенные для преобразования и обработки дискретных сигналов.

✓
В зависимости от вида управляющих сигналов цифровые ИМС можно разделить на три группы:

✓ потенциалные

✓ импульсные

✓ импульсно-потенциальные

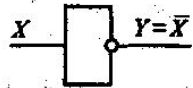
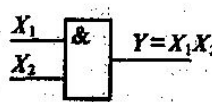
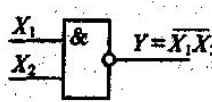
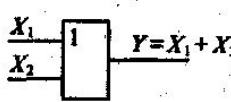
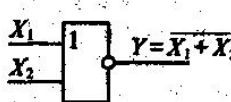
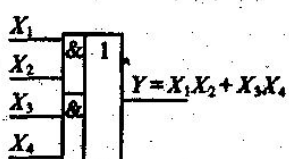
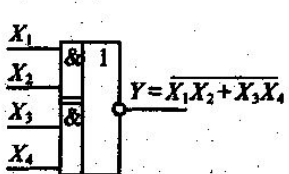
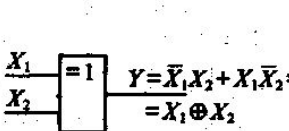
Все логические элементы описываются набором параметров, которые оговорены в технических условиях (ТУ).

Использование параметров, не записанных в ТУ, не разрешается, так как в процессе совершенствования изделия они могут изменяться.

К основным параметрам логических элементов относятся:

- *набор логических функций;*
- *число входов по И и по ИЛИ;*
- *коэффициент разветвления по выходу;*
- *потребляемая мощность;*
- *динамические параметры: задержка распространения сигнала и (или) максимальная частота входного сигнала.*

Основные логические функции

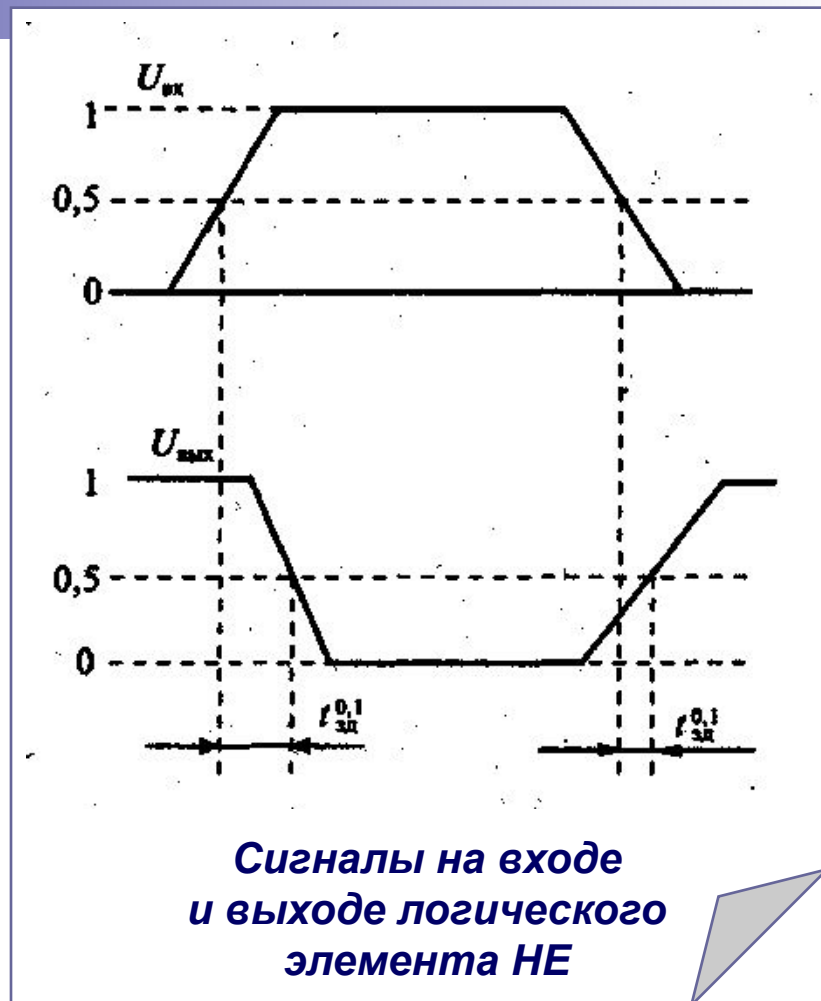
Элемент	Обозначение	Выполняемая функция и схема
НЕ	ЛН	 $Y = \bar{X}$
И	ЛИ	 $Y = X_1 X_2$
И-НЕ	ЛА	 $Y = \bar{X}_1 \bar{X}_2$
ИЛИ	ЛЛ	 $Y = X_1 + X_2$
ИЛИ-НЕ	ЛЕ	 $Y = \bar{X}_1 + \bar{X}_2$
И-ИЛИ	ЛС	 $Y = X_1 X_2 + X_3 X_4$
И-ИЛИ-НЕ	ЛР	 $Y = \bar{X}_1 \bar{X}_2 + X_3 X_4$
Исключающее ИЛИ	ЛП	 $Y = \bar{X}_1 X_2 + X_1 \bar{X}_2 = X_1 \oplus X_2$

Число входов по И и до ИЛИ лежит в пределах от 2 до 16. Если имеющегося числа входов недостаточно, то для их увеличения используются интегральные схемы расширителей по ИЛИ, обозначаемые ЛД.

Коэффициент разветвления по выходу характеризует нагрузочную способность логического элемента и определяется количеством входов однотипных элементов, которые можно подключить к выходу.

В некоторых случаях в ТУ указывается максимальный выходной ток логического элемента.

Сигнал на выходе логического элемента задерживается относительно входного сигнала. Эта задержка определяет не только быстродействие цифровых схем, но и их работоспособность. Время задержки принято определять по уровню $0,5U_{вх}$, и $0,5U_{вых}$, как показано на рис.справа. При этом задержка переднего фронта импульсного сигнала может отличаться от задержки заднего фронта и в результате длительность импульса на входе оказывается отличной от длительности импульса на выходе.



Мощность, потребляемая логической ИМС, обычно зависит от сигналов, поданных на входы. Для сравнения потребляемой ИМС мощности пользуются понятием средней мощности $P_{ф}$, потребляемой базовым логическим элементом во включенном и выключенном состояниях. Это позволяет сравнивать по потребляемой мощности логические ИМС различных серий.

Серийные логические ИМС

В зависимости от технологии изготовления логические ИМС делятся на серии, отличающиеся набором элементов, напряжением питания, потребляемой мощностью, динамическим параметрам и др. Наибольшее применение получили серии логических ИМС, выполненные по ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика), ЭСЛ (эмиттерно-связанная логика) и КМОП (комплементарная МОП логика) технологиям.

Каждая из перечисленных технологий совершенствовалась, поэтому в каждой серии ИМС имеются подсерии, отличающиеся по параметрам

Транзисторно-транзисторные логические элементы (ТТЛ)

Первым разработчиком ИМС по технологии ТТЛ является фирма Texas Instrument, которая выпустила ИМС серии SN74 (отечественный аналог – 155 серия).

Дальнейшие усовершенствования этой серии были направлены на повышение быстродействия и снижение потребляемой мощности.

Основные серии элементов ТТЛ включают следующий перечень номеров:

133, 155, К.155, КМ155, получившие название «стандартные серии»;

130, К.131, 599 – серии с «высоким быстродействием»;

134, 158 – «микромощная серия»;

530, К.531, 1531, 1533 – серии «с диодами Шотки» высокого быстродействия с малым потреблением мощности;

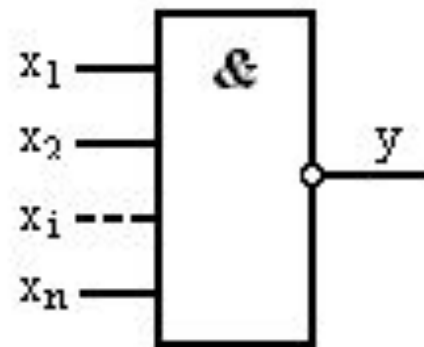
К555, 533 - «микромощная серия с диодами Шотки».

Назначение элементов и принцип работы базовой схемы транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ)

Логика работы

Базовый логический элемент серий ТТЛ является элементом Шеффера (элемент И-НЕ) и реализует операцию, логическое умножение с отрицанием. Он представляет собой двоичный логический элемент, на выходе которого всегда единица, кроме случая, когда на все входы одновременно подаются логические единицы.

Справа показано условное обозначение элемента Шеффера на функциональных схемах (x_1, x_2, \dots, x_n – входы; y – выход). Минимальное число входов равно двум.



Условное графическое обозначение элемента И-НЕ

Логика работы элемента Шеффера на три входа представлена таблицей, называемой **таблицей состояний**.

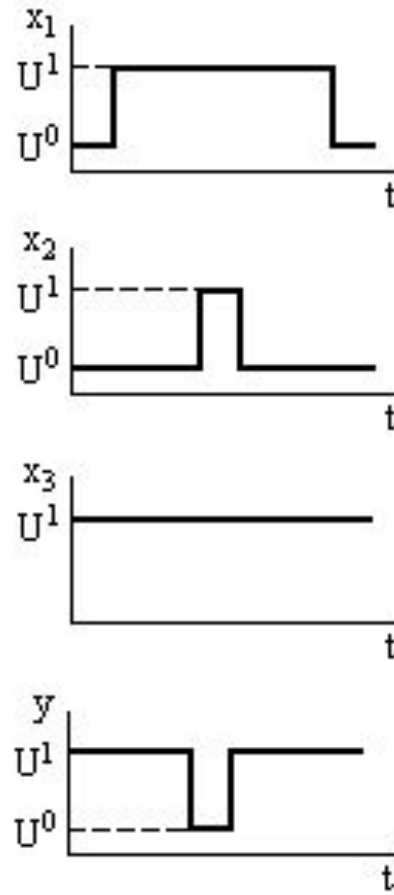
Таблица состояний элемента И-НЕ

Логическое уравнение работы элемента, составленное на основании таблицы состояний, записывается в виде

$$y = \overline{X_1 \cdot X_2 \cdot X_3}$$

X_1	X_2	X_3	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

На рисунке ниже приведена временная диаграмма, поясняющая работу элемента на три входа, где U_0 и U_1 – уровни напряжений, соответствующие состояниям «0» и «1».



Временная диаграмма работы элемента

Назначение элементов

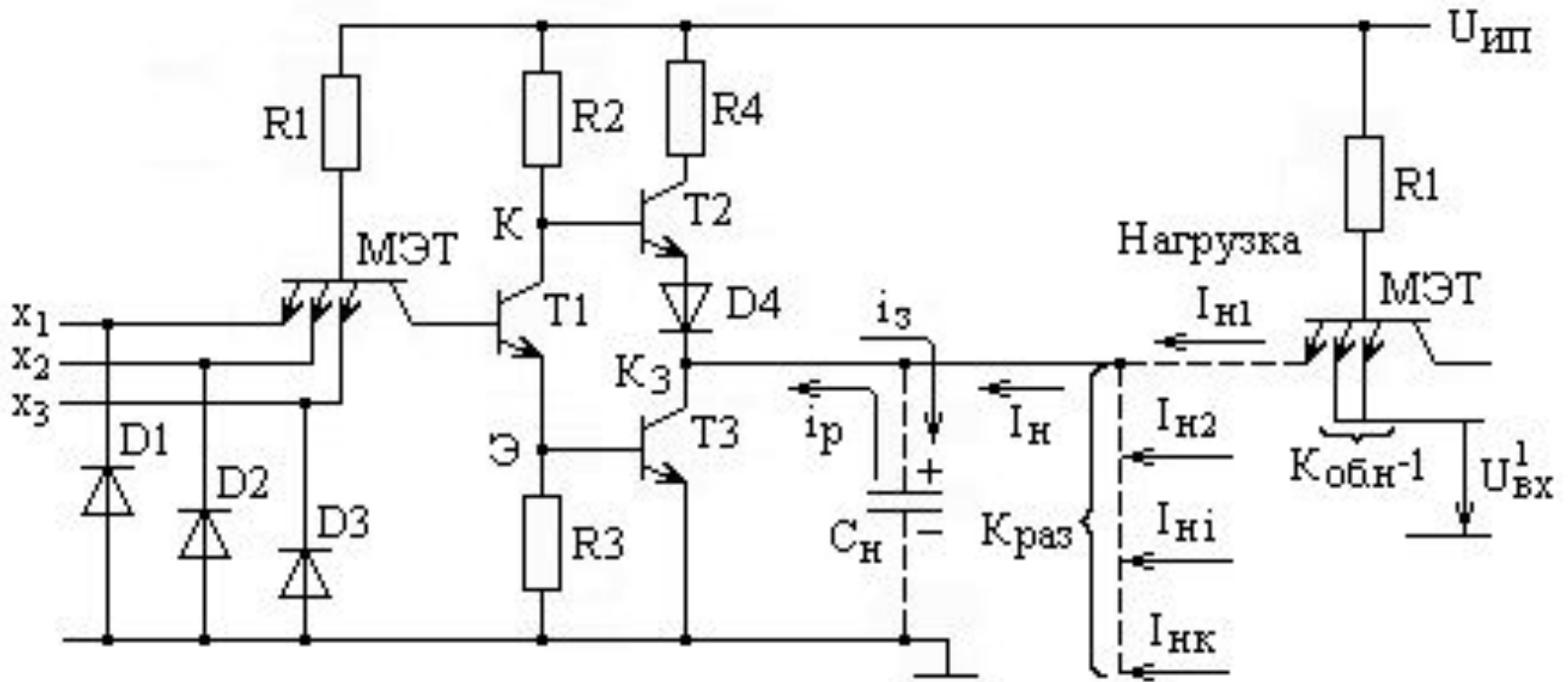
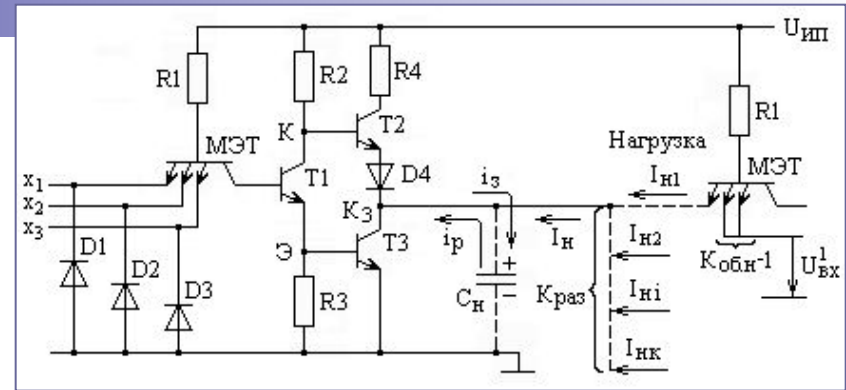


Схема электрическая принципиальная элемента
И-НЕ ТТЛ

Схема состоит из двух частей.
Первая часть – входная, реализующая функцию И, содержит резистор R1 и МЭТ; вторая часть – выходная, реализующая функцию НЕ, содержит сложный инвертор на транзисторах T1–T2.



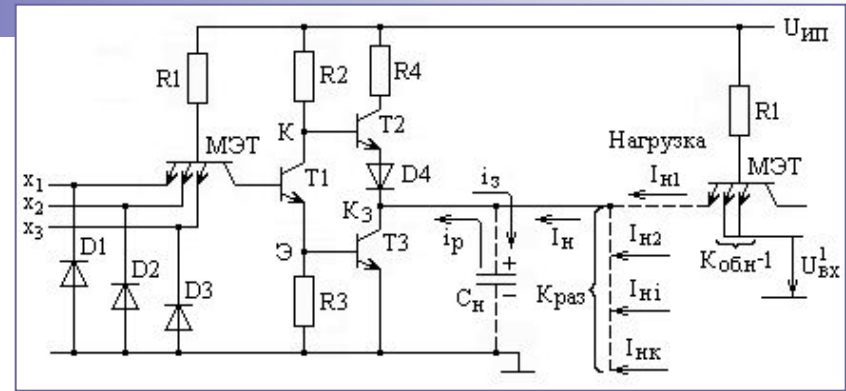
Последний состоит из фазорасщепляющего каскада (T1, R2, R3), предназначенного для противофазного переключения транзисторов T2, T3, и выходного усилителя (T2, T3, D4, R4).

Транзистор T1 выполняет также функцию диода смещения и тем самым увеличивает порог переключения схемы, повышая ее помехоустойчивость.

Количество входов у реальных схем $K_{об} \leq 8$. Увеличение количества входов расширяет логические возможности схемы элемента, однако ухудшает ее динамические параметры.

В зависимости от значения вытекающего тока транзистор T2 может работать как в активном режиме, так и в режиме насыщения. В большинстве серий транзистор T2 работает в активном режиме при небольших токах на грузки.

Резистор R4 предохраняет T2 и D4 от перегрузки при замыкании выхода элемента «на землю». Кроме того, резистор R4 ограничивает ток в цепи коллектора транзистора T2 при переключении элемента.



Резистор R3 обеспечивает запираение транзистора T3. Последний рассчитан на большой рабочий ток и имеет малое время рассасывания. Через него ток нагрузок входит в схему элемента. Уровень напряжения U на выходе элемента в зависимости от тока нагрузки.

$$U_{\text{ВЫХ}}^0 = U_{\text{кэ. нас } T_3} = 0,05 \div 0,45 \text{ В}$$

Способность элемента ТТЛ работать на большую емкостную нагрузку при высоких скоростях переключения объясняется тем, что заряд и разряд емкости нагрузки C_n происходят через низкоомную выходную цепь; $i_3 = I_{\text{э}2}$; $i_p = I_{\text{к}3}$ (см. схему).

Эмиттерно-связанные логические элементы (ЭСЛ)

Эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ) – один из вариантов логических схем, работающих в ненасыщенном режиме.

ЭСЛ-схемы имеют низкий выходной импеданс, небольшой разброс уровней логического напряжения и хорошую помехоустойчивость для обоих уровней логического напряжения.

Первым разработчиком ИМС по технологии ЭСЛ была фирма Motorola, которая выпустила серию ИМС МС 10000 (отечественные аналоги – 100 и 500 серии).

Интегральные элементы эмиттерно-связанной логики или переключатели тока транзисторной логики (ПТТЛ) относятся к потенциальным элементам:

«1» и «0».

В потенциальной системе представляются в виде потенциалов, т. е. напряжений того или иного знака.

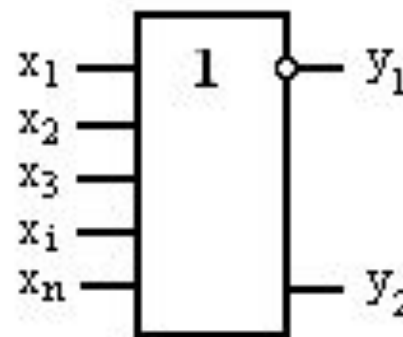
В настоящее время промышленностью выпускается несколько серий элементов ЭСЛ

(например, К137, К187, К229, 100, К500, 500 и др.), обладающих функциональной и технической полнотой, т. е. обеспечивающих выполнение любых арифметических и логических операций, а также хранение, вспомогательные и специальные функции.

Назначение элементов и принцип работы базовой схемы эмиттерно-связанной логики (ЭСЛ)

Логика работы

На рисунке справа показано условное графическое обозначение базового элемента ЭСЛ на функциональных схемах, где x_1, x_2, \dots, x_n - входы; y_1 – инверсный выход; y_2 – прямой выход.



Условное графическое обозначение элемента ЭСЛ

Минимальное число входов равно двум. Элемент реализует для “положительной логики” одновременно функции ИЛИ–НЕ (стрелка Пирса) по выходу y_1 и функцию ИЛИ (дизъюнкция) по выходу y_2 .

Таблица состояний элемента ЭСЛ для «положительной» логики

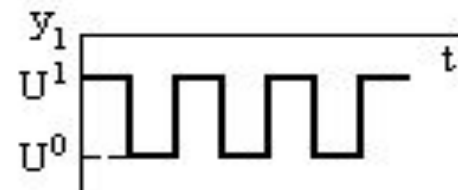
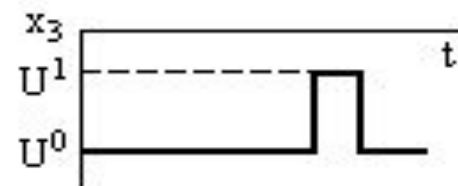
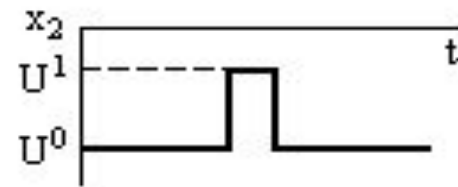
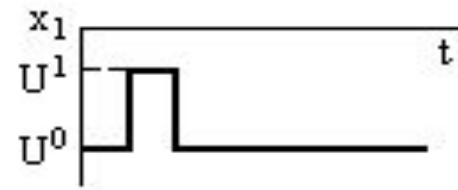
x_1	x_2	x_3	y_1	y_2
0	0	0	1	0
1	0	0	0	1
0	1	0	0	1
0	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	0	1	0	1
0	1	1	0	1
1	1	1	0	1

Логическое уравнение работы элемента, составленное по таблице состояний записывается в виде

$$y_1 = \overline{x_1 + x_2 + x_3}; \quad y_2 = x_1 + x_2 + x_3.$$

(знак плюс соответствует дизъюнкции, т. е. логическому сложению)

На рисунке справа
приведена временная
диаграмма,
поясняющая логику
работы элемента ЭСЛ
на три входа.



Ниже приведена принципиальная электрическая схема элемента ЭСЛ с напряжением питания $U_{\text{ИП}} = -5 \text{ В}$.

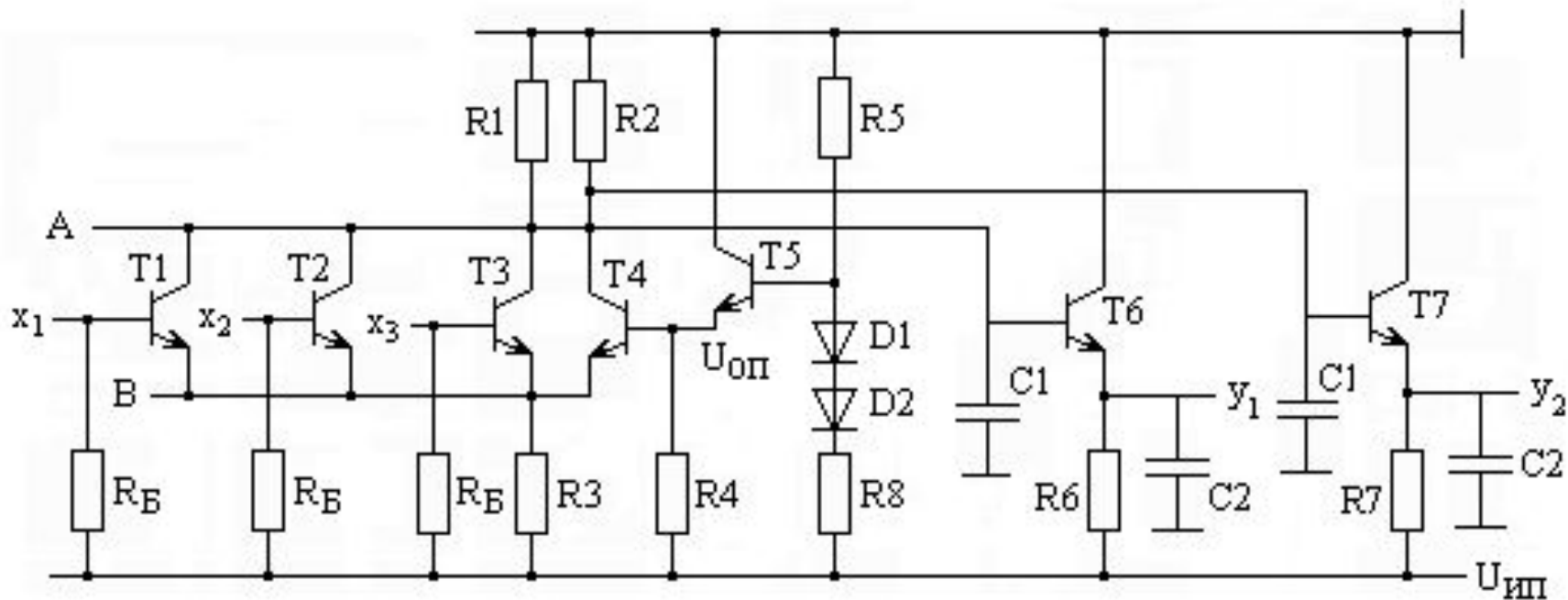


Схема электрическая принципиальная элемента ЭСЛ

В зависимости от способа кодирования входной информации («1» и «0») эта схема может реализовать

- ✓ либо функции ИЛИ–НЕ, ИЛИ для положительной логики,
- ✓ либо функции И–НЕ, И для отрицательной логики.

*Для положительной логики
«1» и «0»
представляются
напряжениями:*

$$U^0 = -1,45 \div 1,9 \text{ В}$$

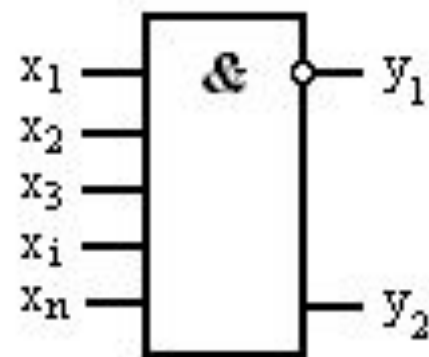
$$U^1 = -1,45 \div 0,95 \text{ В}$$

*Для положительной логики
«1» и «0»
представляются
напряжениями:*

$$U^0 = 0,7 \div -0,95 \text{ В}$$

$$U^1 = -1,45 \div -1,9 \text{ В}$$

На рисунке справа
приведено условное
графическое обозначение
базового логического
элемента ЭСЛ на
функциональных схемах
для отрицательной логики.



***Условное графическое
обозначение элемента ЭСЛ***

Таблица состояний элемента ЭСЛ для «отрицательной» логики

x_1	x_2	x_3	y_1	y_2
0	0	0	1	0
1	0	0	1	0
0	1	0	1	0
0	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	0	1	1	0
0	1	1	1	0
1	1	1	0	1

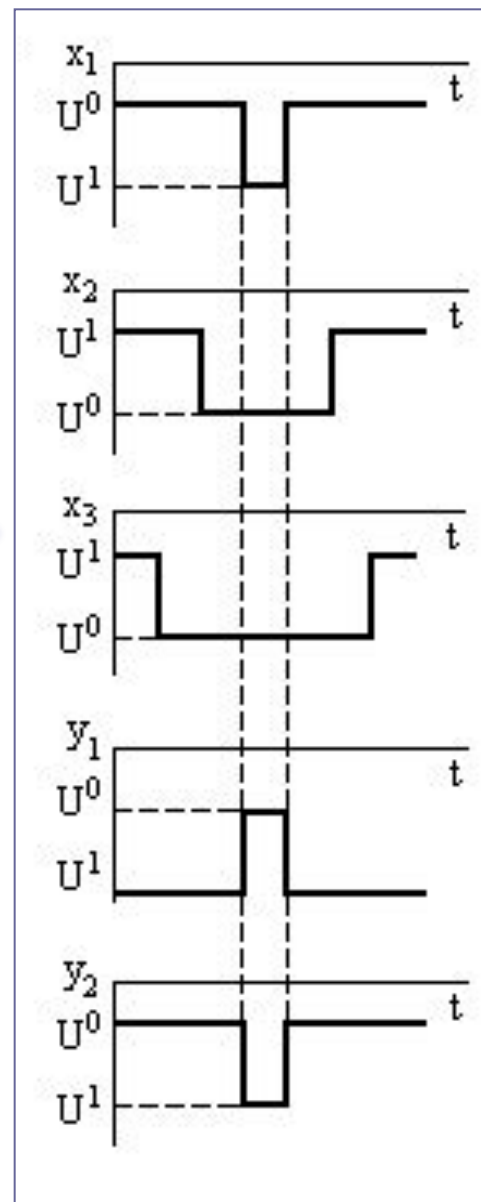
Из этой таблицы следует , что

$$y_1 = \overline{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3},$$

$$y_2 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3.$$

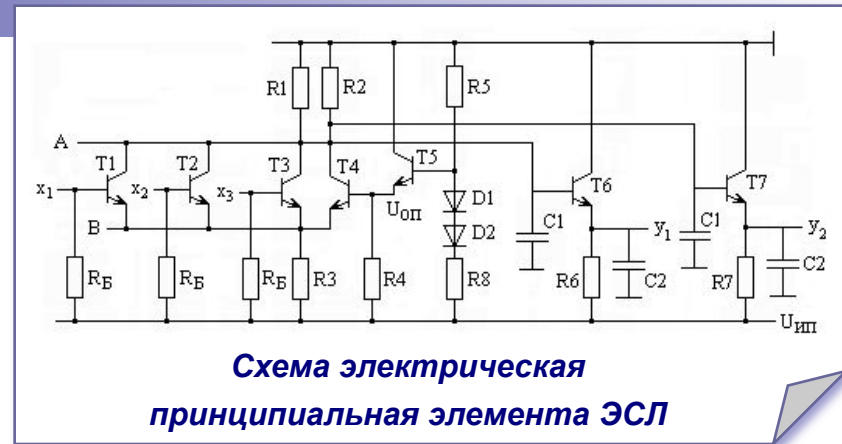
Таким образом, по выходу y_1 реализуется функция И–НЕ,
а по выходу y_2 – функция И.

На рисунке справа приведена временная диаграмма, поясняющая логику работы элемента в соответствии с таблицей состояния элемента ЭСЛ для «отрицательной» логики



Назначение элементов

Схема элемента ЭСЛ, показанная на схеме электрической принципиальной, состоит из:



- 1) дифференциального усилителя (токовый переключатель), содержащего две ветви, работающие в ключевом режиме (первая ветвь на транзисторах $T1-T3$, вторая – на транзисторе $T4$, транзисторы работают в активной области и не входят в состояния насыщения, обе ветви усилителя связаны эмиттерами через резистор $R3$, источник напряжения питания $U_{пит}$ и резистор $R3$ образуют генератор тока $IR3$);
- 2) источника опорного напряжения на транзисторе $T5$ и диодах $D1$ и $D2$, обеспечивающих температурную компенсацию изменения тока $IR3$ из-за изменения напряжения $U_{бэ}$ транзисторов $T4\{T1-T3\}$ и $T5$;
- 3) выходных эмиттерных повторителей на транзисторах $T6, T7$.

КОМПАРАТОРЫ

Компаратор – это линейное устройство сравнения, для которого

$$U_{\text{ВЫХ}} = \begin{cases} U_{\text{ВЫХ}}^1 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} > 0 \\ U_{\text{ВЫХ}}^0 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} < 0 \end{cases}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = \begin{cases} U_{\text{ВЫХ}}^1 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} < 0 \\ U_{\text{ВЫХ}}^0 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} > 0 \end{cases}$$

где $U_{\text{ВХ1}}$ и $U_{\text{ВХ2}}$ - сравниваемые входные напряжения,

$U_{\text{ВЫХ}}^1$ и $U_{\text{ВЫХ}}^0$ - логические уровни ("1" и "0").

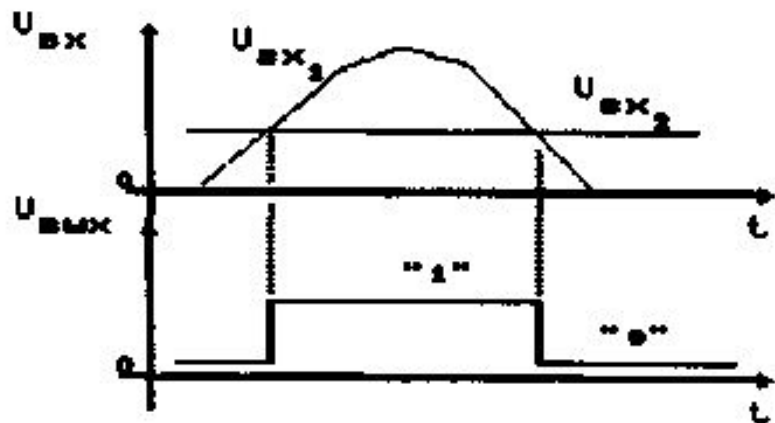
Во многих технических задачах приходится сравнивать три
входных напряжения
(функция "окна", "окошечный" компаратор).

Тогда:

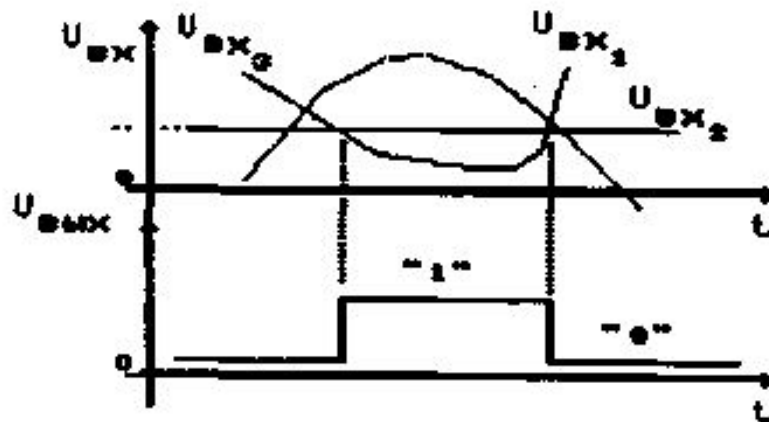
$$U_{\text{ВЫХ}} = \begin{cases} U_{\text{ВЫХ}}^1 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} > 0 \text{ и } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ3}} < 0 \\ U_{\text{ВЫХ}}^0 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} < 0 \text{ и } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ3}} > 0 \end{cases}$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = \begin{cases} U_{\text{ВЫХ}}^1 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} < 0 \text{ и } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ3}} > 0 \\ U_{\text{ВЫХ}}^0 & \text{при } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}} > 0 \text{ и } U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ3}} < 0 \end{cases}$$

Графически функции компараторов представлены ниже:



а)



б)

Одно (а) и двухуровневое (б) сравнение входных напряжений

Строгое равенство разности входных напряжений нулю в технических системах нереализуемо из-за неизбежных малых флуктуации входных напряжений

Требования к компараторам

Идеальный компаратор должен обеспечивать:

1. Сравнение входных напряжений в диапазоне частот от 0 Гц до бесконечности. Это определяет требования к компаратору в части смещения нуля и рабочей полосы частот, так же как и к операционному усилителю.
2. Сравнение входных напряжений с нулевой статической погрешностью, что требует $k_u \rightarrow \infty$ (сравни с ОУ).
3. Нулевое время реакции на произвольную разность входных напряжений, что требует бесконечно большой скорости нарастания выходного напряжения и нулевых внутренних задержек компаратора.
4. Выходные напряжения должны принимать два дискретных значения.

Параметры компараторов

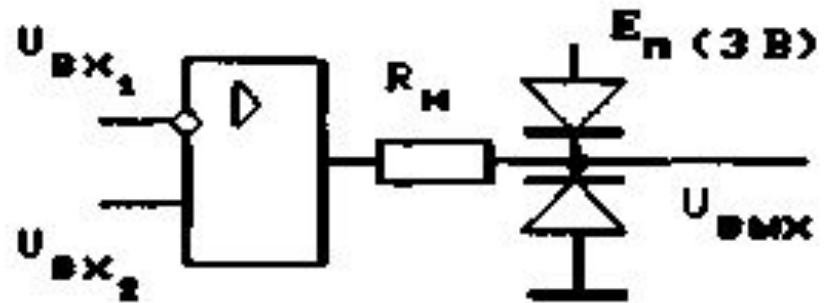
- 1. Разрешающая способность***
- 2. Напряжение смещения***
- 3. Абсолютное значение входного тока и разность входных токов***
- 4. Время отклика (время переключения, задержка распространения).***

Схемы компараторов

Достаточно часто в качестве компаратора используются ОУ. Такие схемные решения широко применяются в практике, особенно при сравнении низкочастотных сигналов.

На рисунке справа приведена типичная схема компаратора на основе ОУ.

Обратите внимание, что операционный усилитель используется без ОС.



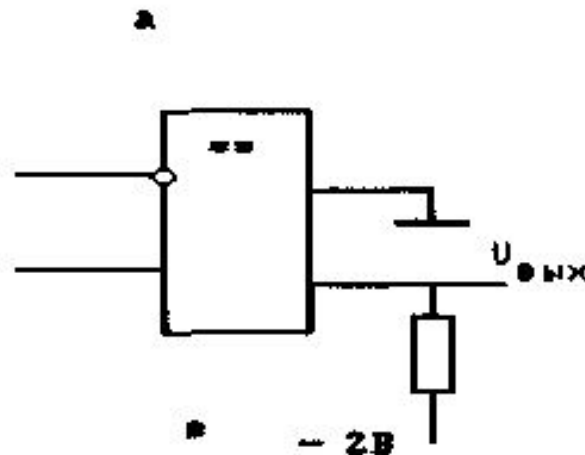
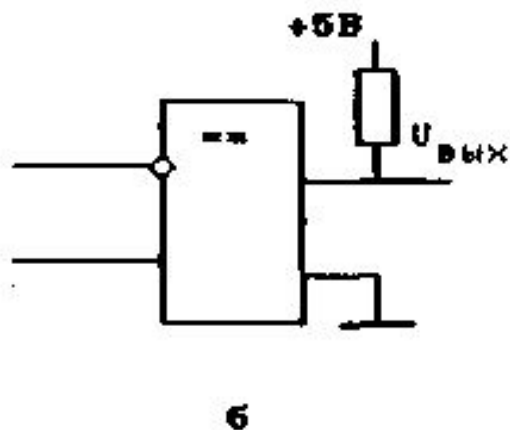
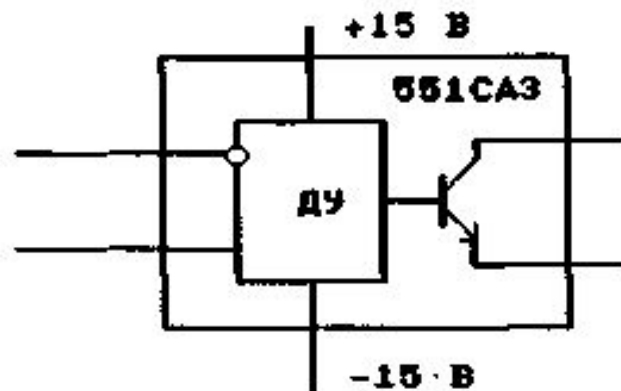
Реализация компаратора с использованием операционного усилителя

Однако в последнее десятилетие для решения задачи компарации напряжений выпускают специальные микросхемы, отличающиеся от ОУ функцией (и, конечно, схемой) выходного каскада. Монолитные компараторы обеспечивают разрешающую способность от десятков микровольт до единиц милливольт при задержке срабатывания от единиц до десятков наносекунд.

***В качестве примера рассмотрим
весьма популярный компаратор
521(554)САЗ.***

Его особенностью является весьма своеобразный выходной каскад. Этот каскад имеет открытый коллектор и открытый эмиттер, и возможна реализация различных включений выходного каскада (инвертирующего и неинвертирующего) при различных комбинациях величин положительного и отрицательного напряжений питания

(см. схему на следующем слайде)



Компаратор 521(554)СЛЗ

- а) упрощенная схема компаратора,*
- б) пример реализации выходных ТТЛ сигналов (с инверсией),*
- в) пример реализации выходных ЭСЛ сигналов (без инверсии).*

*Еще одной особенностью схем компараторов является использование так называемого **строба.***

Под стробом обычно понимают некоторый сигнал прямоугольной формы разрешающий (реже запрещающий) функционирование стробируемого устройства.

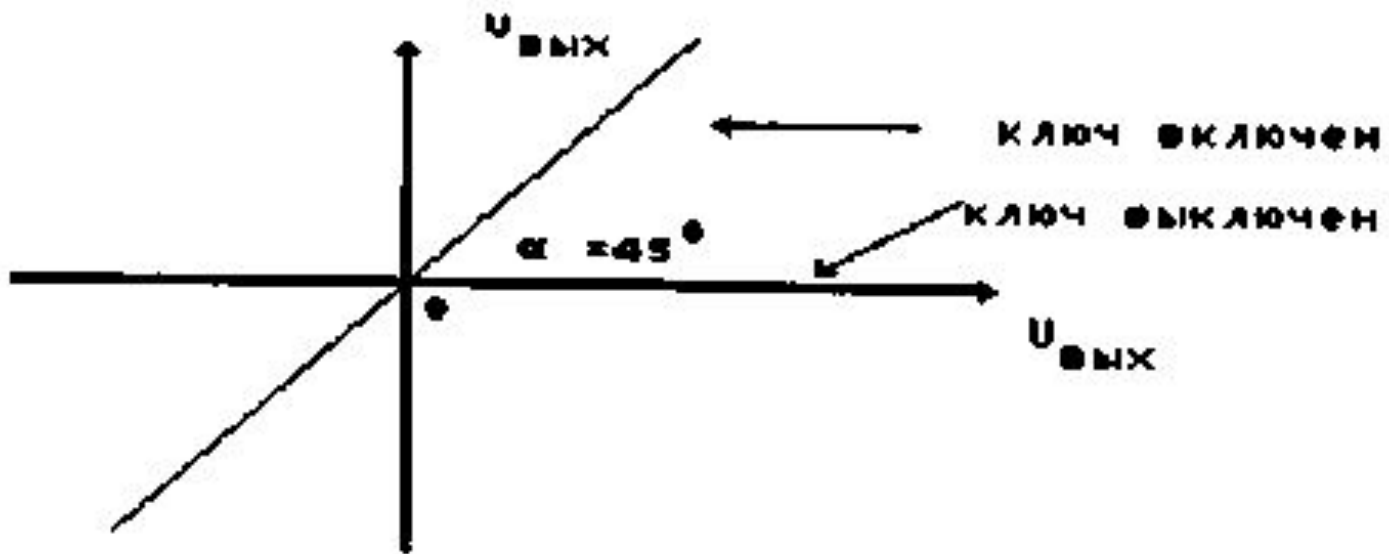
*Строб позволяет анализировать (подключать к исполнительным устройствам) состояние компаратора только **в наперед заданные моменты времени.***

АНАЛОГОВЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ (КЛЮЧИ)

Основным функциональным назначением **электронных аналоговых переключателей (АЛ)** является коммутация сигнальных цепей с коэффициентом передачи близким к 1 и минимальными фазовыми сдвигами.

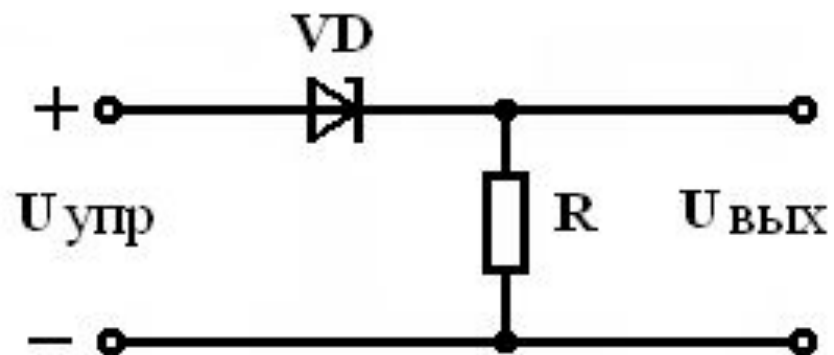
Как и широко известные механические коммутаторы электрических цепей, аналоговые переключатели могут быть **нормально замкнутыми, нормально разомкнутыми, последовательными и параллельными.**

Кроме этого, в электронных схемах различают **переключатели напряжения и переключатели тока.** Как правило, АЛ коммутируют слаботочные, низковольтные цепи, но существуют схемы предназначенные, для коммутации силовых аналоговых сигналов.



Передаточные характеристики идеального аналогового переключателя

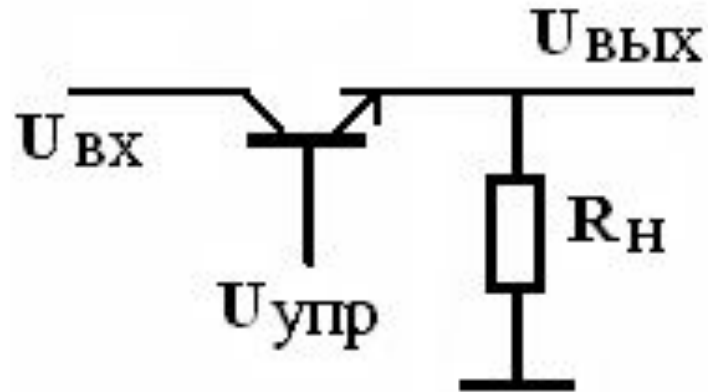
Ключ на стабилитроне



Если $U_{\text{упр}} < U_{\text{ст}}$, то $U_{\text{ВЫХ}} = 0$

Если $U_{\text{упр}} > U_{\text{ст}}$, то $U_{\text{ВЫХ}} \approx U_{\text{упр}}$

Ключ на биполярном транзисторе



$$U_{ВЫХ} = U_{ВХ} - U_{кэ}$$

Для кремниевого транзистора в режиме насыщения:

$$U_{кэ} \approx 0,1 \div 0,3$$

Рекомендуемая литература

- 1. Алтунин Б.Ю., Панкова Н.Г. Теоретические основы электротехники:** Комплекс учебно - методических материалов: Часть 1 / Б.Ю. Алтунин, Н.Г. Панкова; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2007.-130 с.
- 2. Алтунин Б.Ю., Кралин А.А. Электротехника и электроника:** комплекс учебно-методических материалов: Ч.1/ Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2007.-98 с.
- 3. Алтунин Б.Ю., Кралин А.А. Электротехника и электроника:** комплекс учебно-методических материалов: Ч.2/ Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2008.-98 с
- 4. Касаткин, А.С. Электротехника** /А.С. Касаткин, М.В. Немцов.-М.: Энергоатомиздат, 2000.
- 5. Справочное пособие по основам электротехники и электроники** /под. ред. А.В. Нетушила.-М.: Энергоатомиздат, 1995.
- 6. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники.**-3-е изд., перераб. И доп.-М.: Радио и связь, 1990.-512 с.: ил.
- 7. Новожилов, О. П. Электротехника и электроника:** учебник / О. П. Новожилов. – М.: Гардарики, 2008. – 653 с.

Тема 8 Закончена

Благодарю за внимание