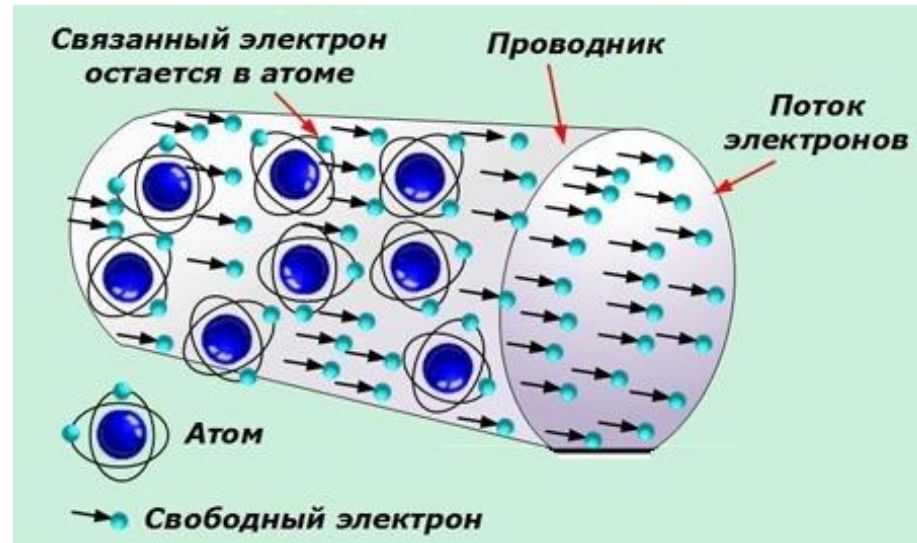


Краткий экскурс в электротехнику. Электрический ток в проводниках.



Электрический ток в материалах обусловлен наличием свободных носителей заряда. В зависимости от их количества различают проводники, диэлектрики и полупроводники. Такими зарядами являются электроны.

Сила тока I в металлическом проводнике определяется по формуле

$$I = e n_0 \bar{v} S$$

e -заряд электрона, \bar{v} -скорость электрона, n_0 -концентрация эл-в, S -площадь поперечного сечения.

Величина $j=I/S$ – плотность тока (6-10 А/мм²). На практике $I = q/t$.

Электрическое сопротивление. Источники тока и напряжения.

Сопротивление R электрическому току участка проводника - $R = \frac{\rho_y l}{S}$

Удельное сопротивление проводника $\rho_y = \rho_{oy} (1 + \alpha \Delta T)$.

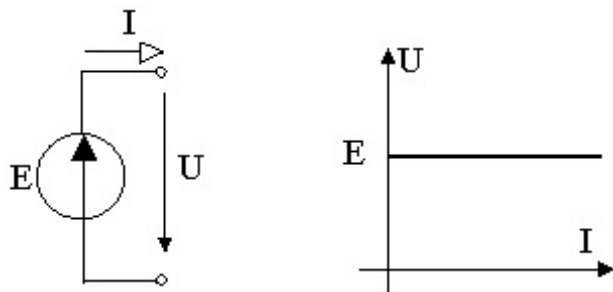
Удельное сопротивление проводников 10^{-5} Ом·мм²/м

Удельное сопротивление диэлектрика $10^8 \dots 10^{16}$ Ом·м.

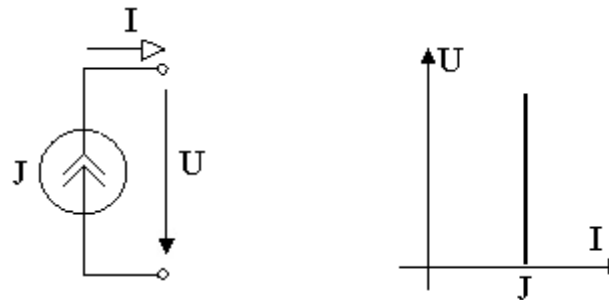
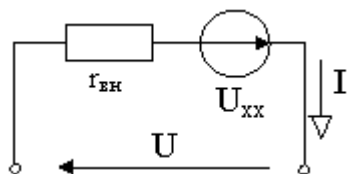
Удельное сопротивление п/проводников $10^{-5} \dots 10^8$ Ом * м

Закон Ома: $I = U/R$. Законы Кирхгофа: $\sum_i I = 0$. $\sum_i E_i = \sum_k U_k$.

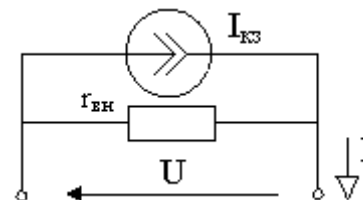
Идеальные и реальные источники напряжения (ЭДС) и тока:



$$R_i = 0;$$

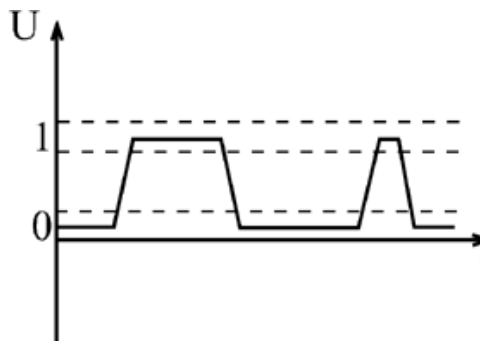
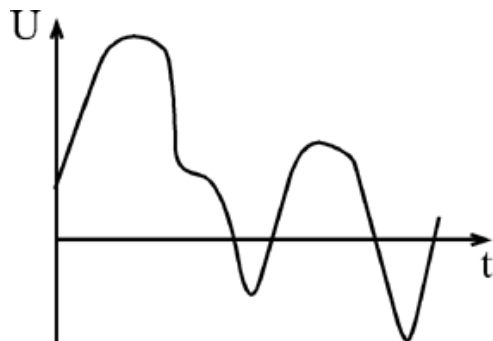


$$R_i = \infty$$



Электрические сигналы.

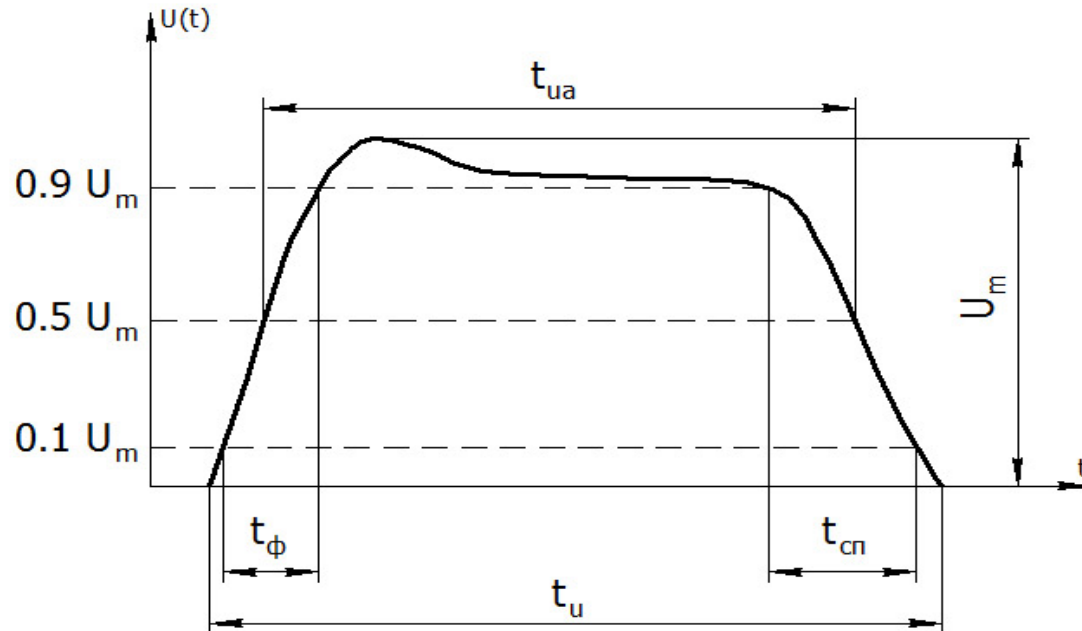
Сигналы: аналоговые и цифровые



Виды сигналов:



Цифровые сигналы и их параметры.

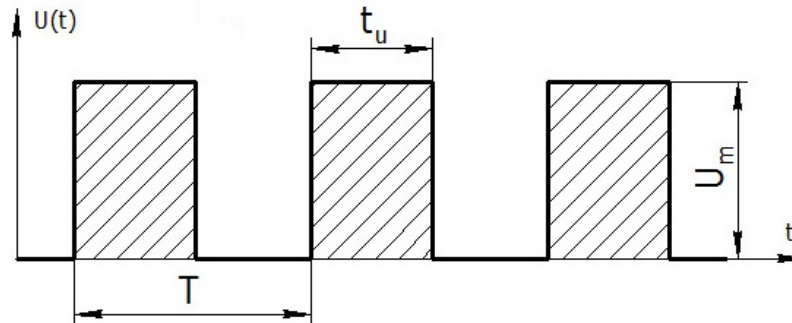


U_m — амплитуда импульса;

t_{ua} — активная длительность импульса ;

t_{ϕ} , $t_{сп}$ — длительность переднего и заднего фронта.

Периодическая последовательность цифровых сигналов.



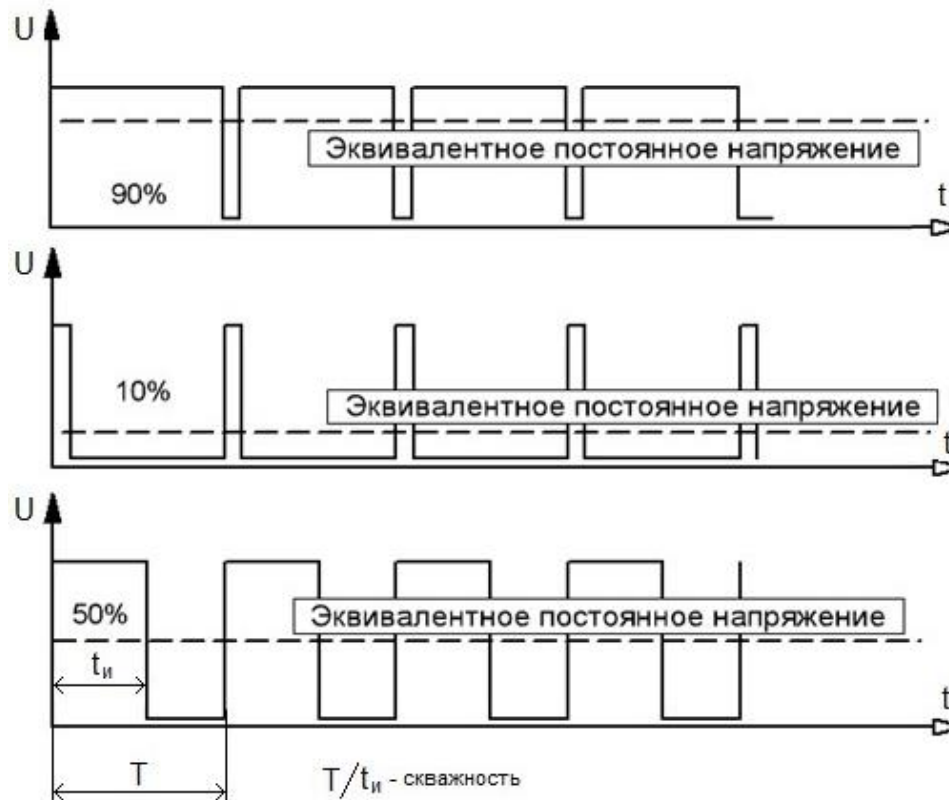
T — период импульсов.

$\alpha = T / t_u$ - скважность импульсов.

$\gamma = t_u / T$ - коэффициент заполнения.

Меандр – длительность импульса равна длительности паузы $\alpha = 2$.

Постоянная составляющая прямоугольной последовательности.



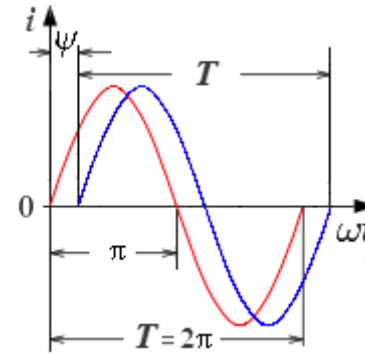
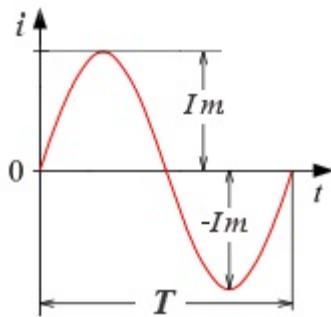
Для разнополярных импульсов $U_{ср}$ вычисляется по формуле:

$$U_{ср} = [U_m t_{и} - U_m (T - t_{и})] / T = 2\gamma U_m - U_m ,$$

а для однополярной последовательности среднее напряжение:

$$U_{ср} = U_0 / \alpha = \gamma U_0 .$$

Параметры переменного тока и напряжения.



Период T

Частота $f = 1/T$.

Круговая (циклическая) частота $\Omega = 2\pi f = 2\pi/T$.

Начальная фаза ψ

Мгновенное значение: $i = i(t)$; $u = u(t)$.

Амплитудное значение: $i_{amp} = \max|i(t)|$; $U_{amp} = \max|u(t)|$.

Среднее значение:
$$I_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt \quad U_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$$

Эффективное (среднеквадратичное) значение:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

Пассивные компоненты электронных устройств. Резисторы.

Основные параметры резисторов:

номинальное сопротивление, **Ом**;

предельная рассеиваемая мощность, Вт;

температурный коэффициент сопротивления Ом/град;

допустимое отклонение сопротивления от номинального значения, %;

предельное рабочее напряжение, В.

Величина $G=1/R$ (обратная сопротивлению цепи) называется проводимостью.

Проводимость измеряется в **Сименсах**. 1сим=1/1 Ом.

При последовательном соединении резисторов их сопротивления складываются:

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n.$$

Если все сопротивления резисторов одинаковы, то общее сопротивление равно:

$$R_{\text{общ}} = nR.$$

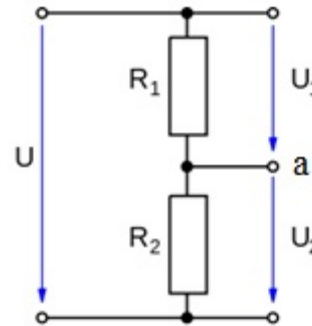
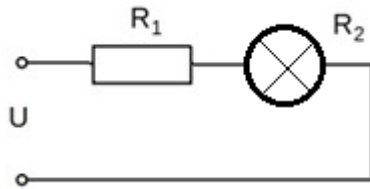
При параллельном соединении резисторов их проводимости складываются.

Для двух параллельно соединенных резисторов их общее сопротивление равно:

$$R_{\text{общ}} = (R_1 * R_2) / (R_1 + R_2).$$

Применение резисторов

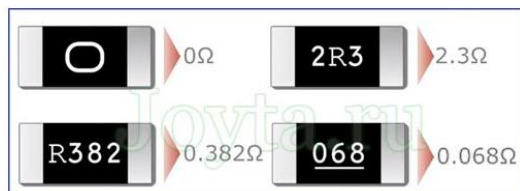
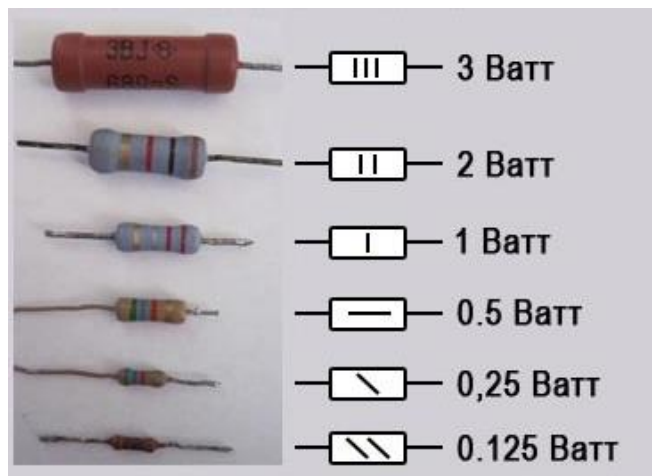
Резисторы служат для задания в определенных точках схемы требуемых напряжений, ограничения тока, поглощения электрической энергии и др.



$$U_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} R_2 .$$

Мощность, рассеиваемая резистором, равна **$P = I^2 R$**

Обозначение и маркировка резисторов



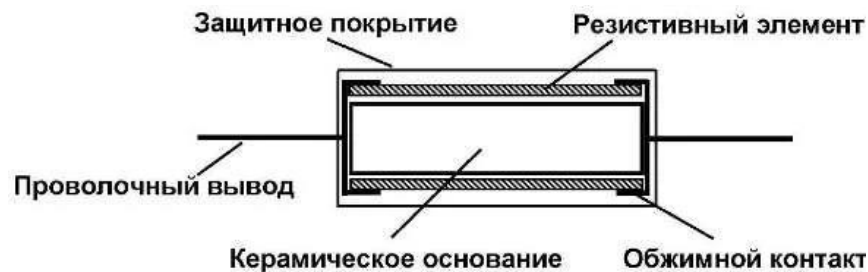
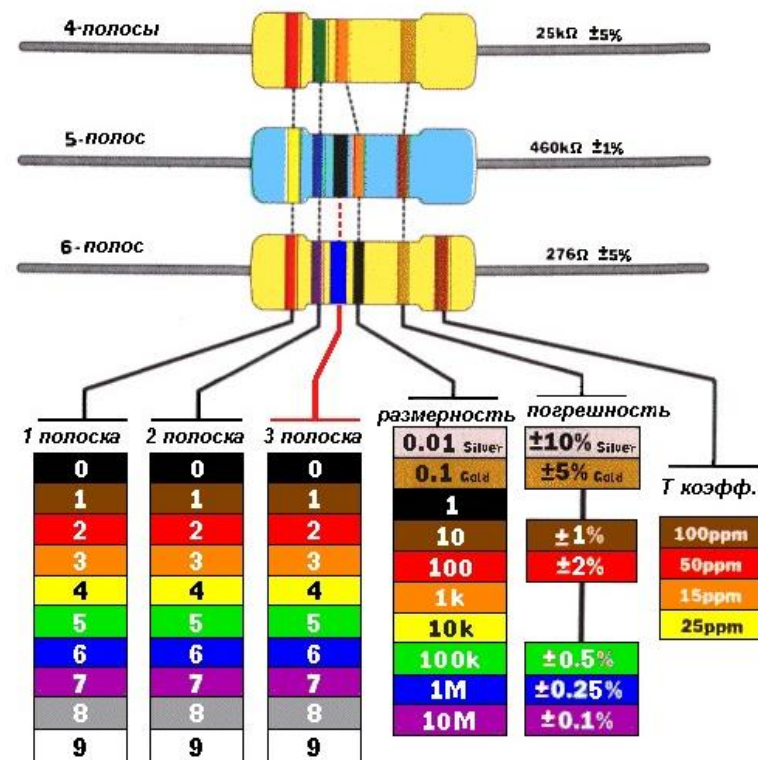
2K2 - 2,2 кОм

33K - 33 кОм

M10 - 0,1 МОм - 100

кОм

47R - 47 Ом



Конденсаторы

Основные параметры конденсаторов:

Номинальная ёмкость. Ёмкость измеряют в **Фарадах (Ф)**.

Номинальное напряжение, В.

Допуск, %.

При параллельном соединении конденсаторов:

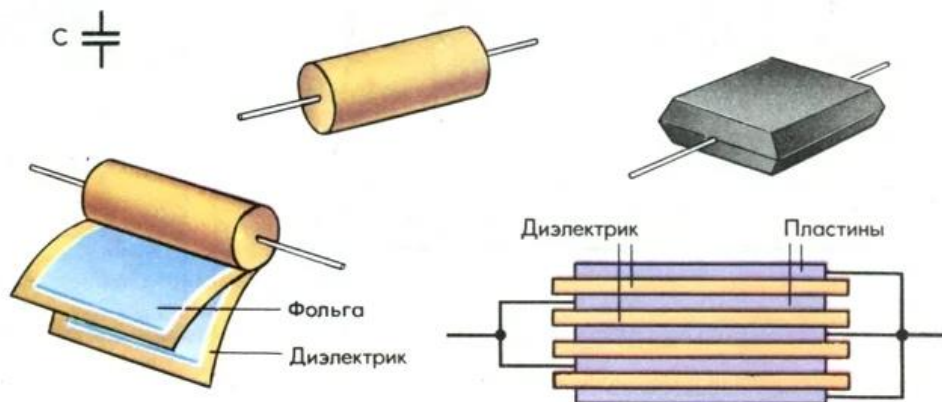
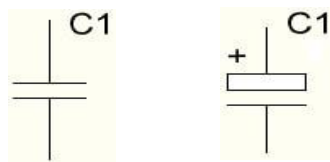
$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n .$$

При последовательном включении конденсаторов:

$$1/C_{\text{общ}} = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n .$$

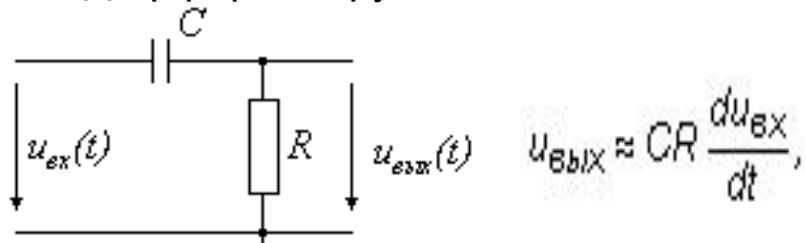
Сопротивление конденсатора переменному току $X_c = 1/(1\omega C)$ [Ом].

Ток конденсатора при изменении напряжения определяется по формуле: $I = C \frac{dU_c}{dt}$.

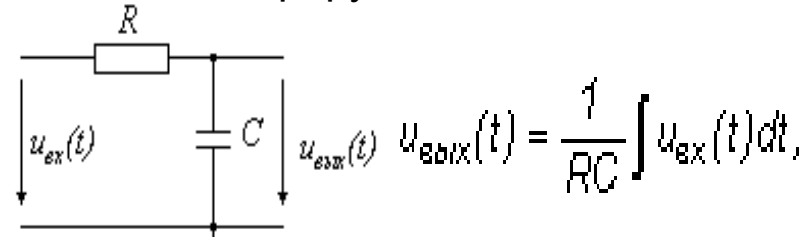


RC-цепочки

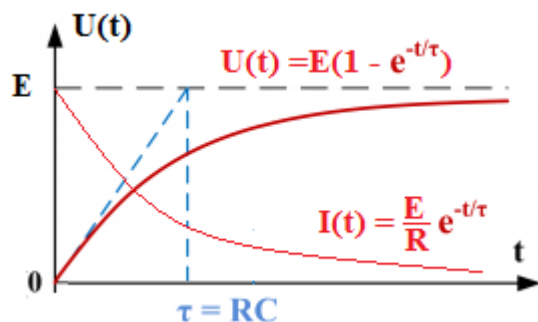
Дифференцирующая



Интегрирующая

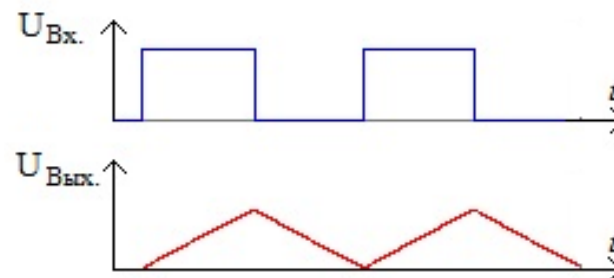
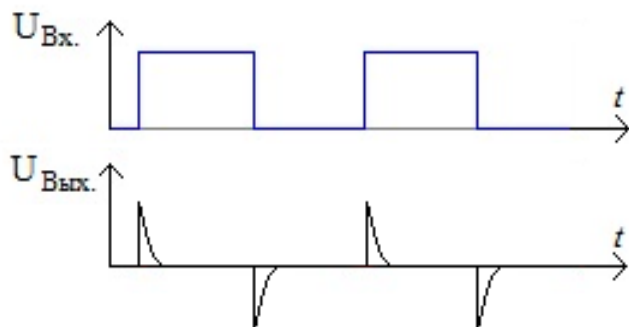


RC-постоянная времени



Для дифцепочки требуется $\tau \ll t_{\text{имп}}$

Для интегрирующей $\tau \gg t_{\text{имп}}$

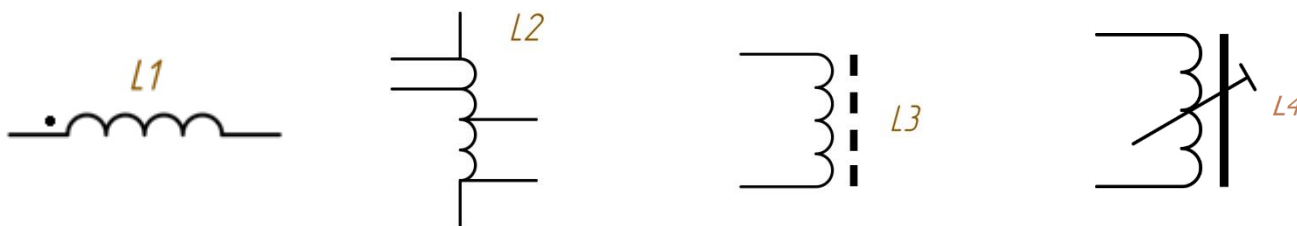


Конденсаторы



Катушки индуктивности

Основной параметр катушки индуктивности - индуктивность L , измеряемая в Генри (Гн).



$$e_L = -L \frac{di}{dt}.$$

$$x_L = \omega L.$$

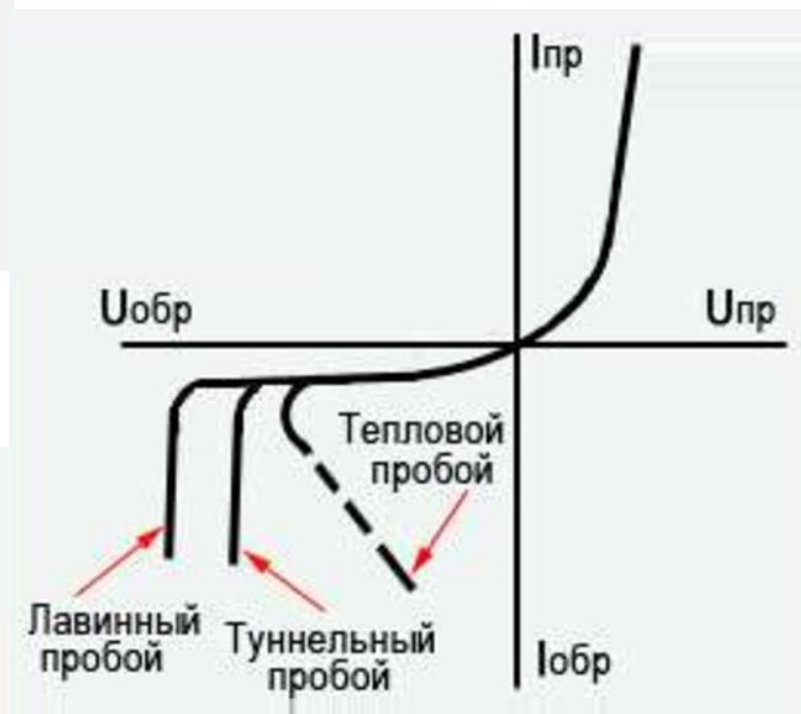
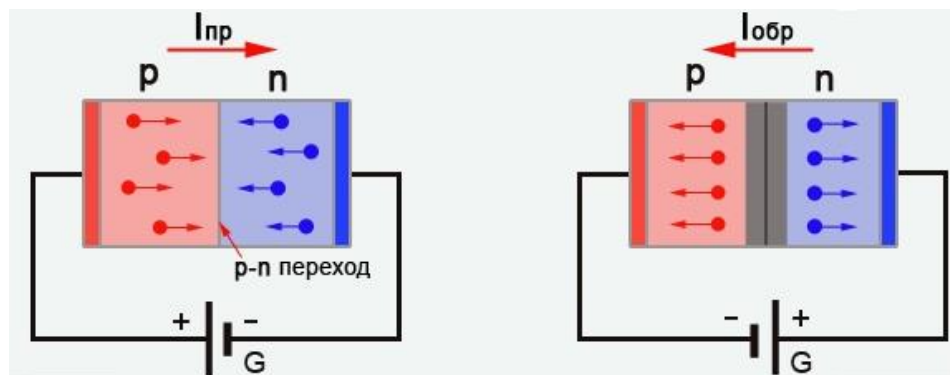
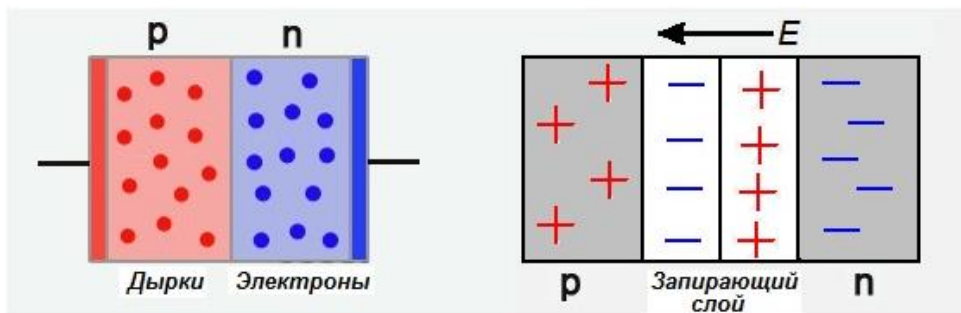


Дроссель

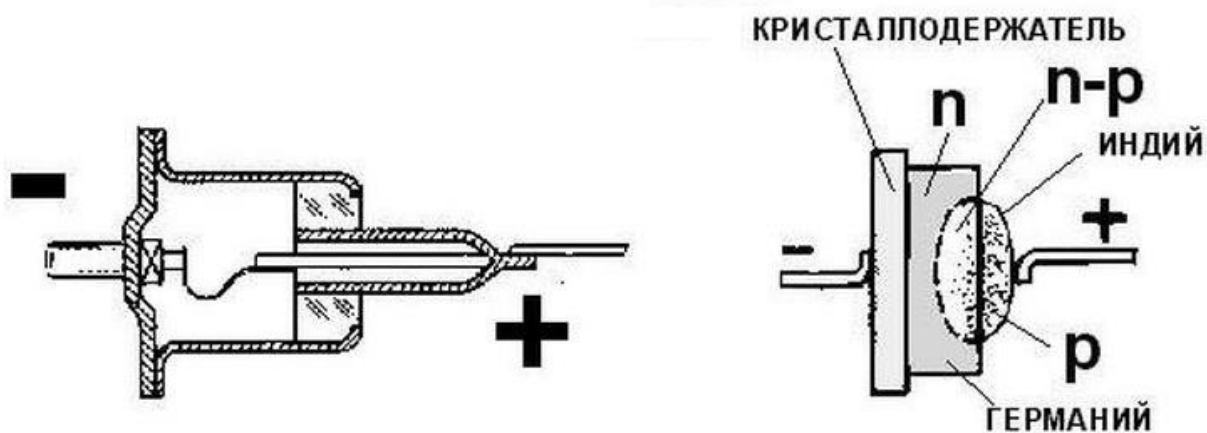
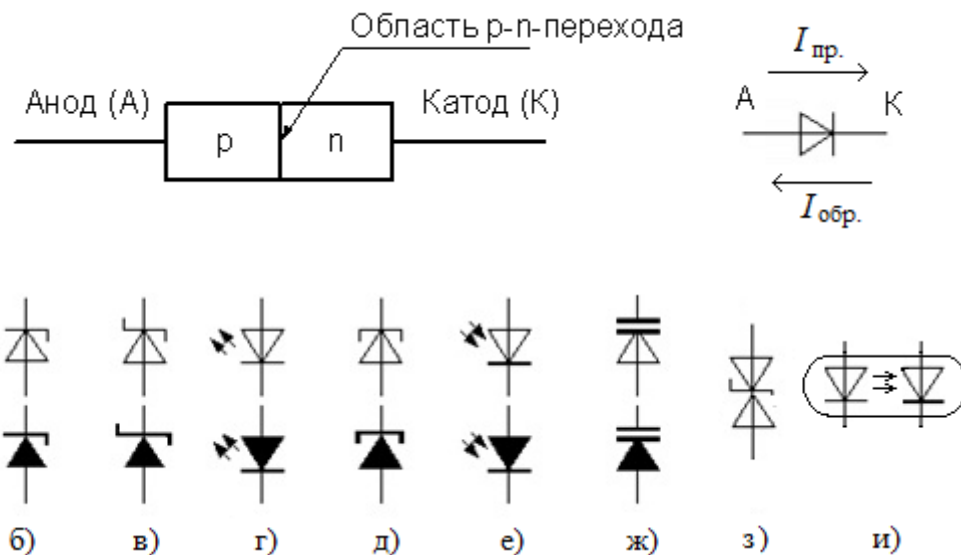


Трансформаторы

P-n переход и его свойства

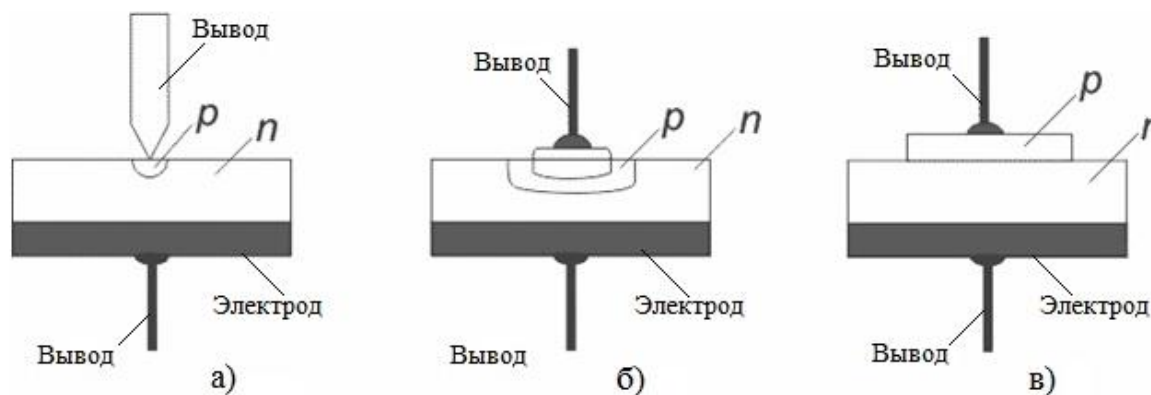


Полупроводниковые диоды



Полупроводниковые диоды

Конструкции точечного (а), сплавного (б) и диффузионного диодов (в)



Полупроводниковые диоды. Основные параметры.

Постоянный прямой ток $I_{пр}$ - постоянный ток, протекающий через диод в прямом направлении.

Постоянное прямое напряжение $U_{пр}$ - постоянное напряжение на диоде при заданном прямом токе.

Постоянное обратное напряжение $U_{обр}$ - постоянное напряжение, приложенное к диоду в обратном направлении.

Постоянный обратный ток $I_{обр}$ - постоянный ток, протекающий через диод в обратном направлении при заданном обратном напряжении.

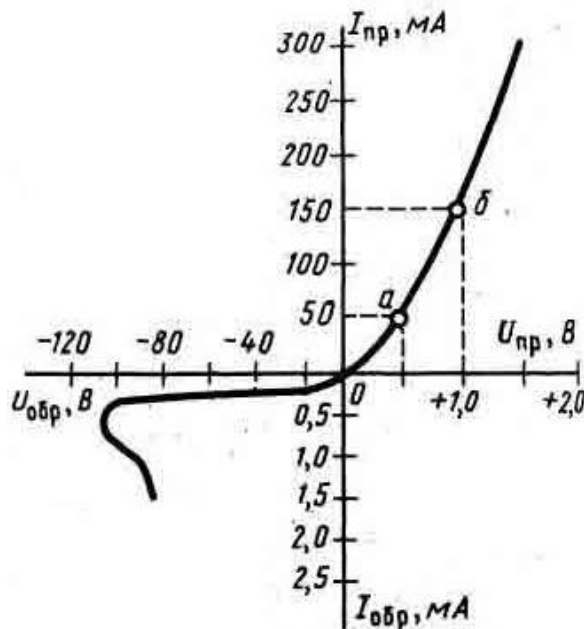
Средний прямой ток $I_{пр.ср.}$ - прямой ток, усредненный за период.

Средний обратный ток $I_{обр.ср.}$ - обратный ток, усредненный за период.

Максимальная частота f_{max} — наибольшая частота подводимого напряжения, при которой диод работает достаточно эффективно, а нагрев диода не превышает допустимой величины.

Дифференциальное сопротивление диода $r_{диф}$ - отношение приращения напряжения на диоде к вызвавшему его малому приращению тока.

Диод. Вольт-амперная характеристика.



Различают статическое сопротивление полупроводникового диода:

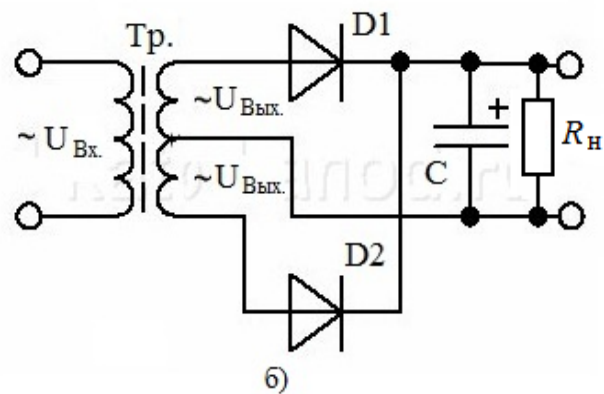
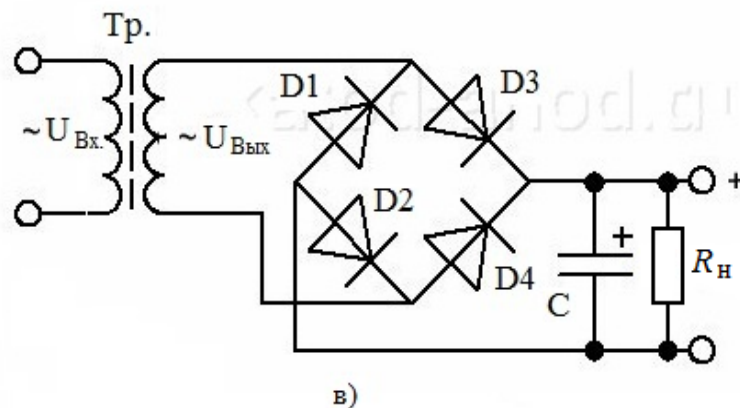
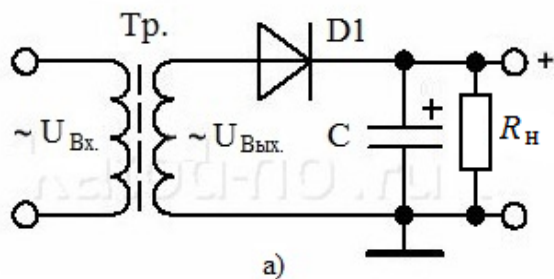
$$R_{\text{ст}}(I) = U / I.$$

и его дифференциальное сопротивление:

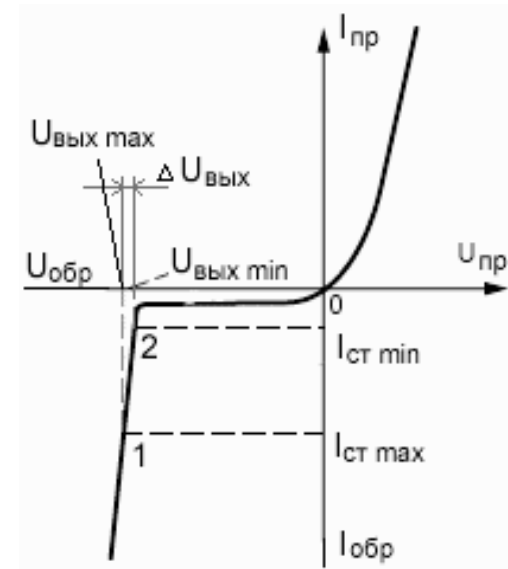
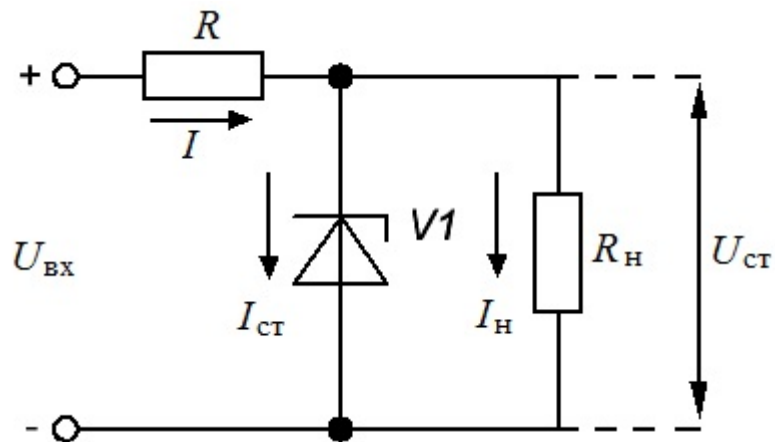
$$R_{\text{д}}(I) = dU/dI = \Delta U / \Delta I.$$

На разных участках вольт-амперной характеристики эти сопротивления будут различными.

Выпрямители на полупроводниковых диодах.



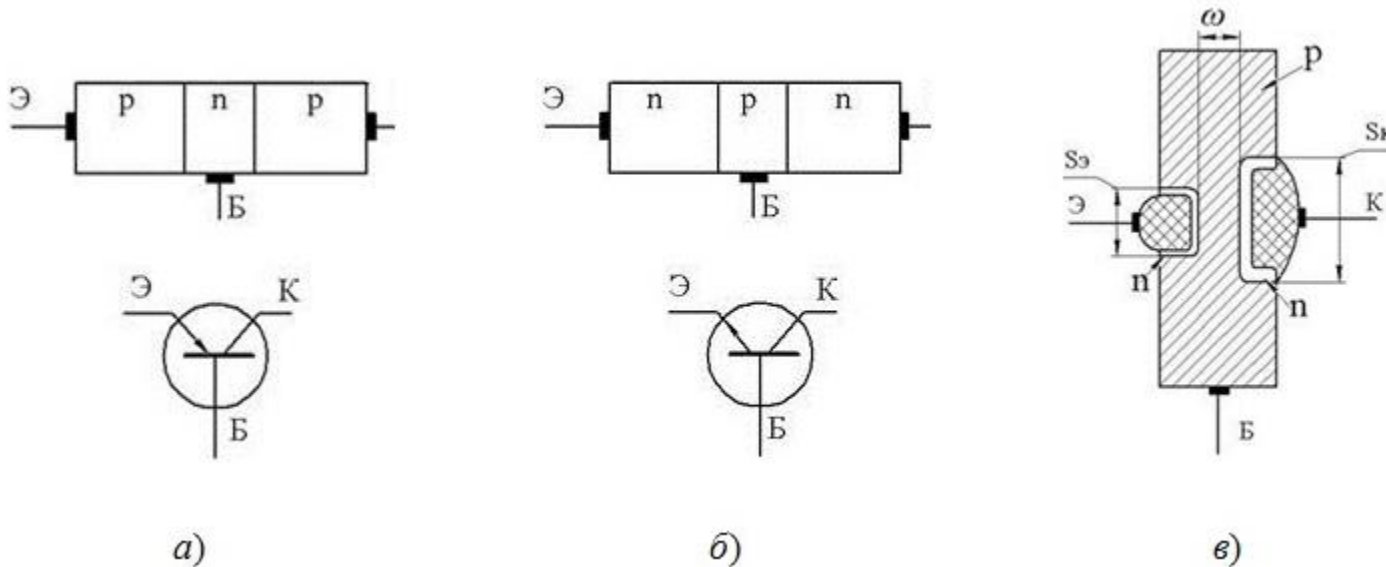
Стабилизатор напряжения



$$K_{CT} = \frac{\Delta U_{BX}}{U_{BX}} : \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{U_{ВЫХ}} = \frac{\Delta U_{BX} U_{ВЫХ}}{\Delta U_{ВЫХ} U_{BX}} = \frac{\Delta U_{BX} U_{СТ}}{\Delta U_{ВЫХ} U_{BX}}$$

Коэффициент стабилизации

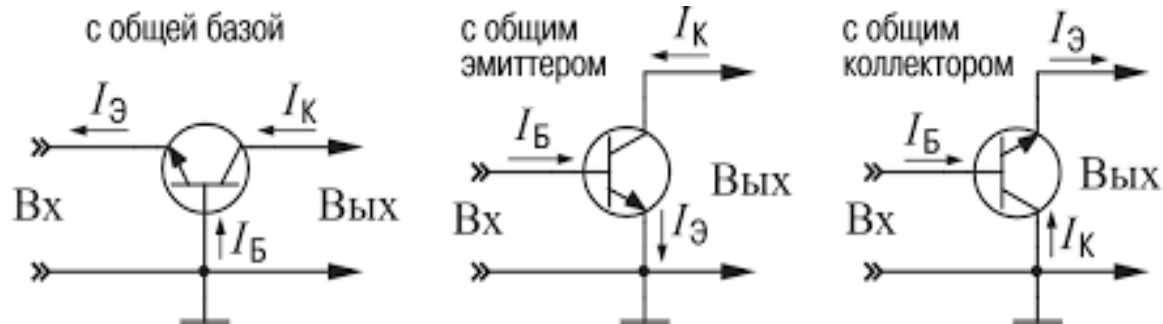
Биполярные транзисторы



В зависимости от **мощности**, рассеиваемой на коллекторе, различают транзисторы малой мощности (м.м., $P_{к.маx} < 0,3 \text{ Вт}$); средней мощности (с.м., $0,3 \text{ Вт} < P_{к.маx} < 1,5 \text{ Вт}$); большой мощности (б.м., $P_{к.маx} > 1,5 \text{ Вт}$).

В зависимости от **частоты** усиливаемого сигнала различают низкочастотные (НЧ, $f_{гр} < 3 \text{ МГц}$); среднечастотные (СЧ, $3 \text{ МГц} < f_{гр} < 30 \text{ МГц}$); высокочастотные (ВЧ, $30 \text{ МГц} < f_{гр} < 300 \text{ МГц}$) и сверхвысокочастотные (СВЧ, $f_{гр} > 300 \text{ МГц}$).

Биполярные транзисторы



Схемы включения транзисторов

Основными параметрами транзистора являются коэффициенты передачи токов:

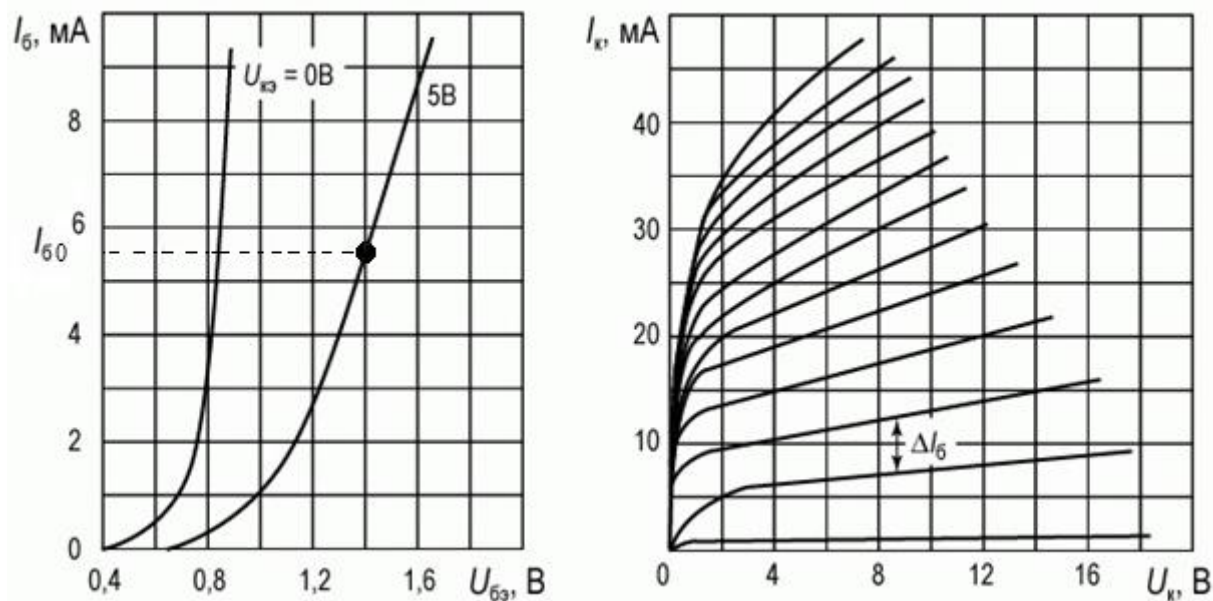
$\alpha = I_{\text{К}} / I_{\text{Э}}$ – коэффициент передачи эмиттерного тока в коллектор, равный от 0,9 до 0,99;

$\beta = I_{\text{К}} / I_{\text{Б}}$ – коэффициент передачи базового тока в коллектор, принимающий значения от 10 до 1000.

Для биполярного транзистора ток эмиттера равен сумме токов базы и коллектора, т.е.:

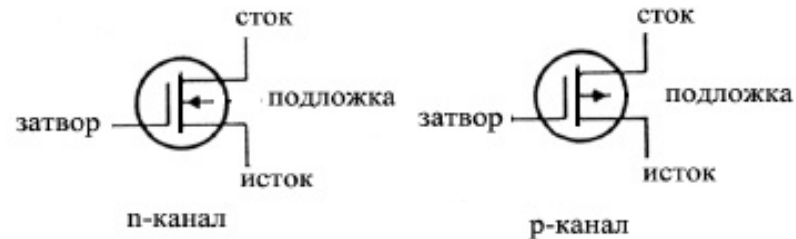
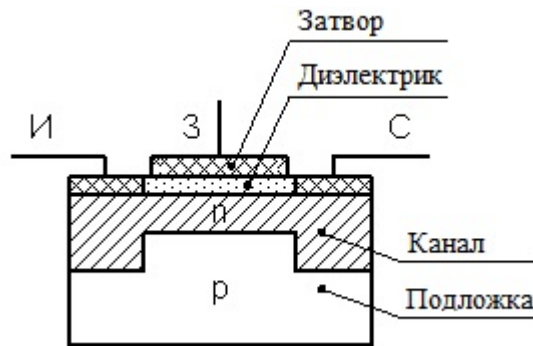
$$I_{\text{Э}} = I_{\text{Б}} + I_{\text{К}} .$$

Биполярные транзисторы



Входная (а) и выходная (б) характеристики биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером

МОП транзисторы

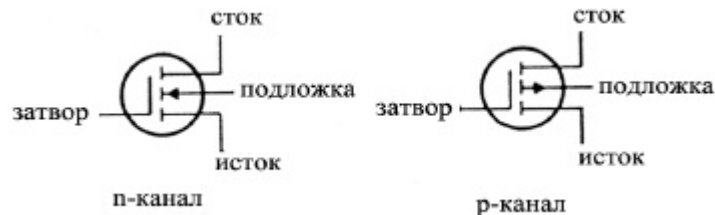
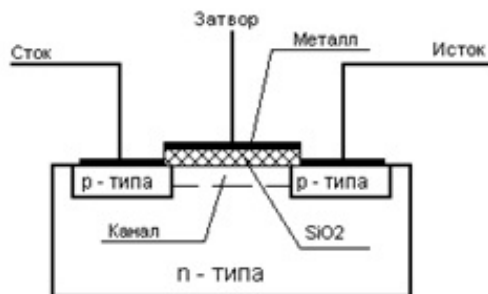


Основой МОП (металл – оксид - полупроводник) транзистора является кремниевая подложка с проводимостью p - или n -типа.

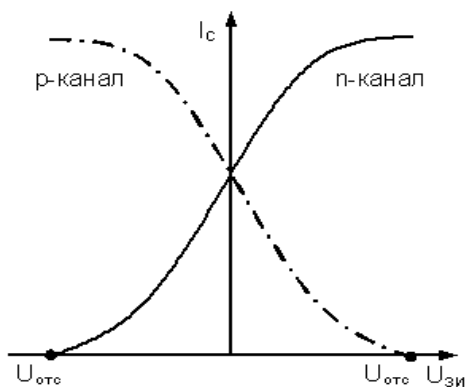
В зависимости от устройства канала проводимости различают МОП транзисторы со встроенным и индуцированным (наведенным) каналом. Это в равной мере относится к приборам p - и n - типов.

У транзисторов со встроенным каналом канал является элементом конструкции, а у приборов с индуцированным каналом канал, как таковой, отсутствует: он наводится внешним напряжением.

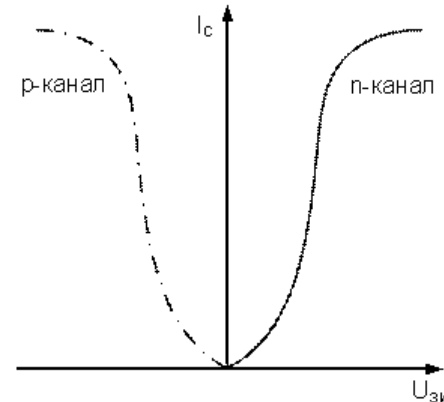
МОП транзисторы



МОП-транзисторы с индуцированным каналом



а)



б)

Зависимости выходного тока МДП-транзисторов от входного напряжения (а) встроенный канал, (б) индуцированный канал

МОП транзисторы

Основными параметрами униполярных транзисторов являются:

коэффициент усиления — отношение изменения напряжения исток-сток к изменению напряжения затвор-исток при постоянном токе стока;

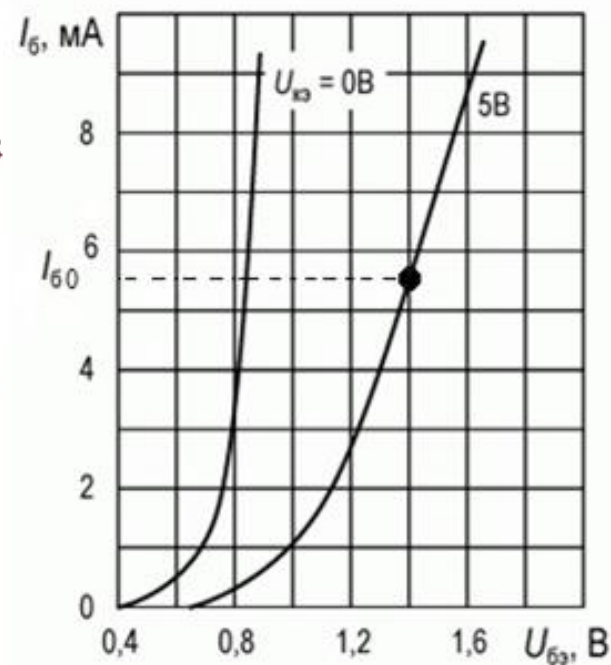
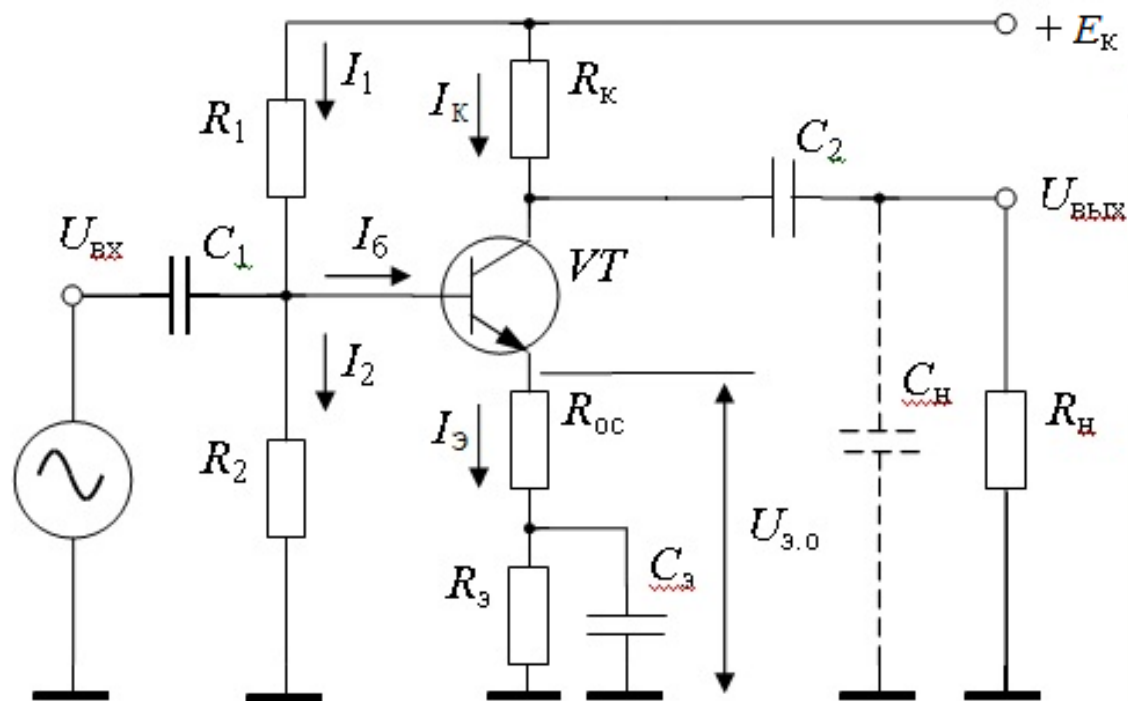
крутизна стоко-затворной характеристики, чем она больше, тем «острее» реакция транзистора на изменение напряжения на затворе;

входное сопротивление $R_{вх}$, определяется сопротивлением обратно смещенного р-п перехода и обычно достигает единиц и десятков МОм (что выгодно отличает полевые транзисторы от биполярных «родственников»);

максимальный ток стока $I_{с макс}$ при фиксированном напряжении затвор-исток;
максимальное напряжение сток-исток $U_{си}$, после которого уже наступает пробой;

внутреннее (выходное) сопротивление $R_{вых}$. Оно представляет собой сопротивление канала для переменного тока (напряжение затвор-исток — константа).

Применение транзисторов



Усилительный каскад на биполярном транзисторе

Применение транзисторов

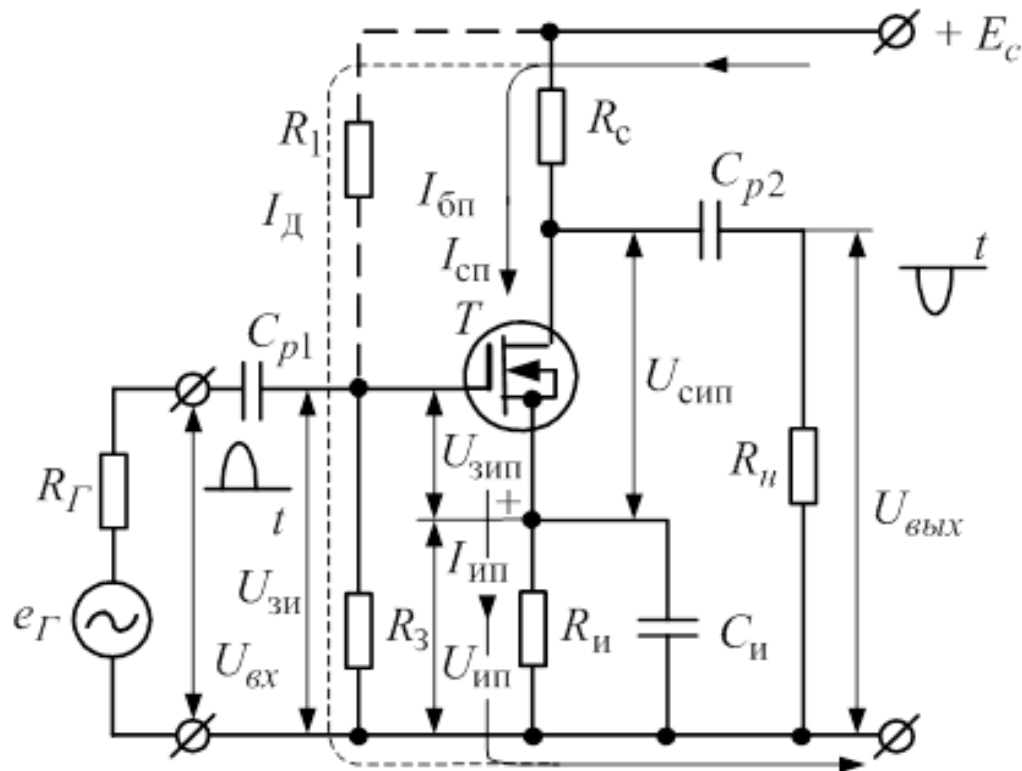


Схема усилительного каскада на базе МДП-транзистора, включенного по схеме с общим истоком

Ключевой режим работы транзисторов

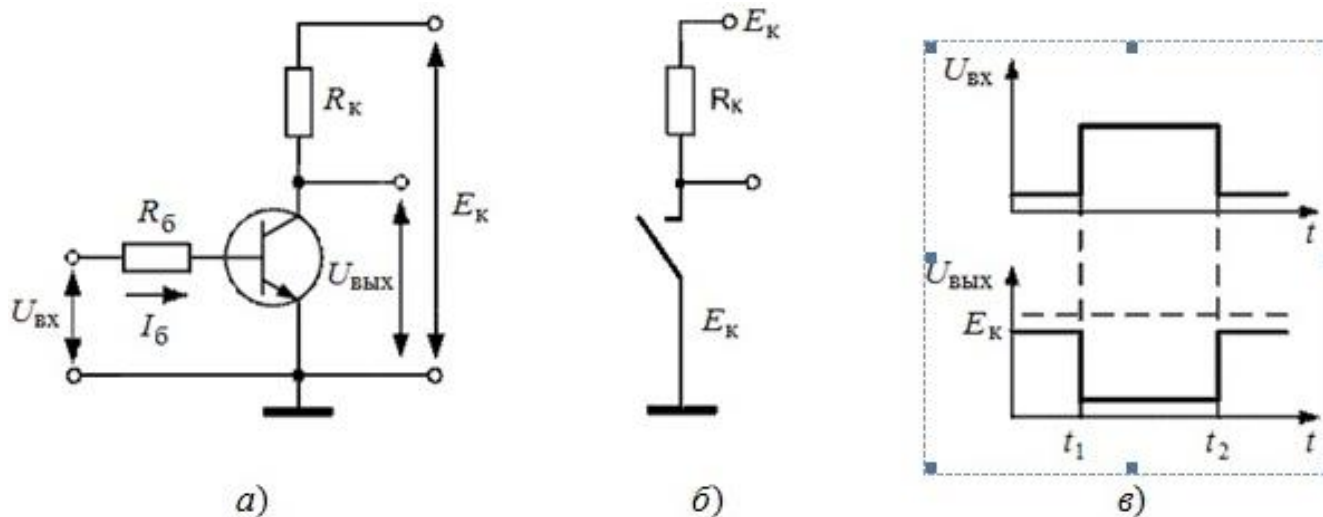


Схема ключа на биполярном транзисторе (а), эквивалентная схема (б) и временная диаграмма (в)

Ключевой режим работы транзисторов

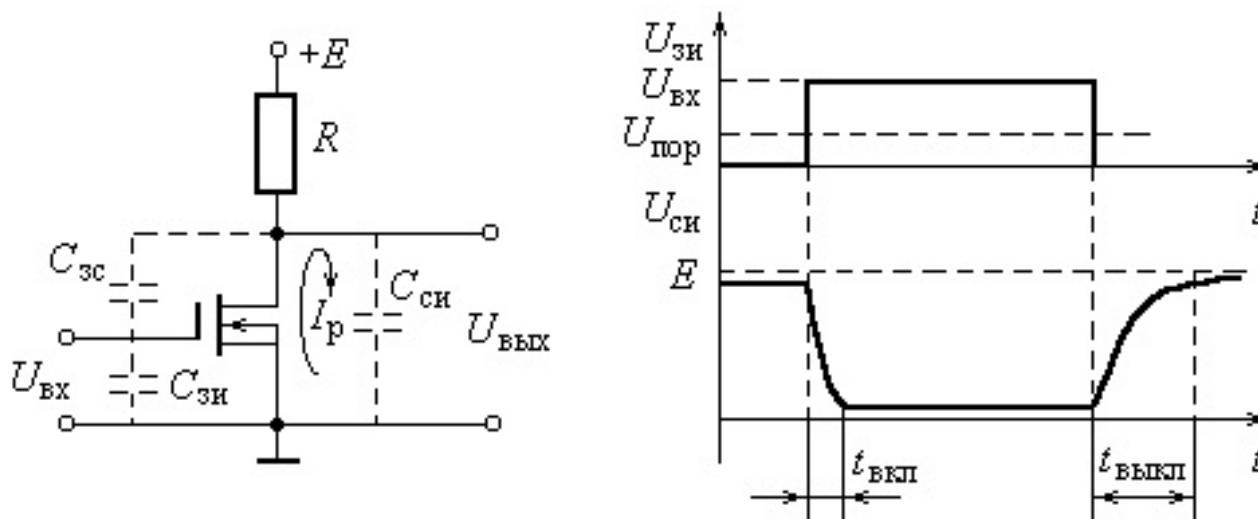


Схема реального ключа на МДП-транзисторе (а) и временная диаграмма работы ключа (б)

Ключ на основе КМОП-транзисторов

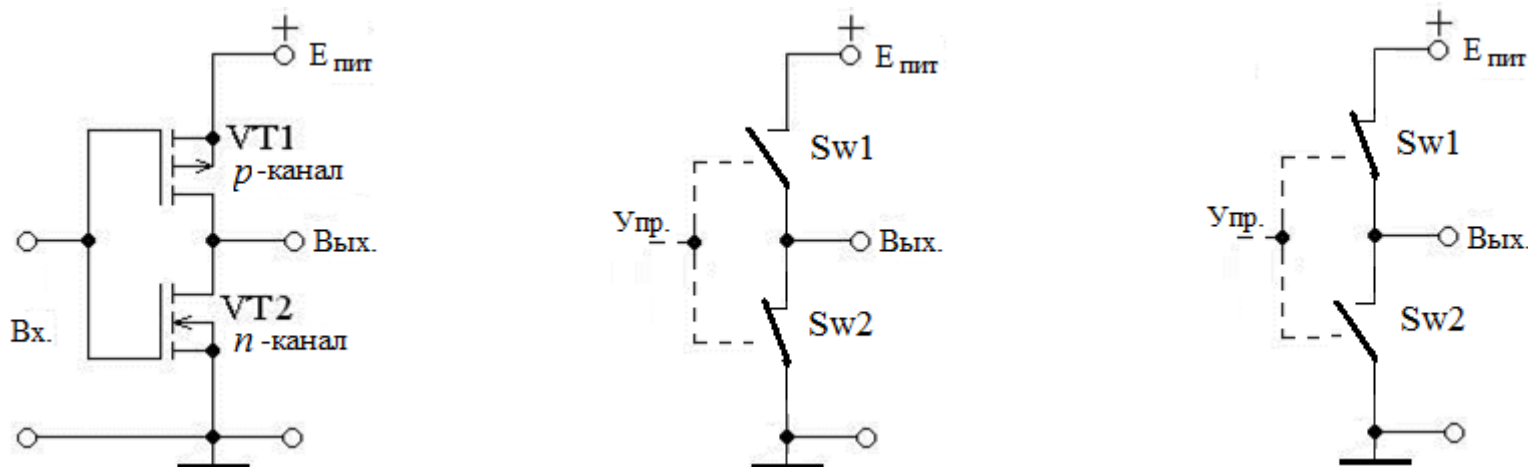
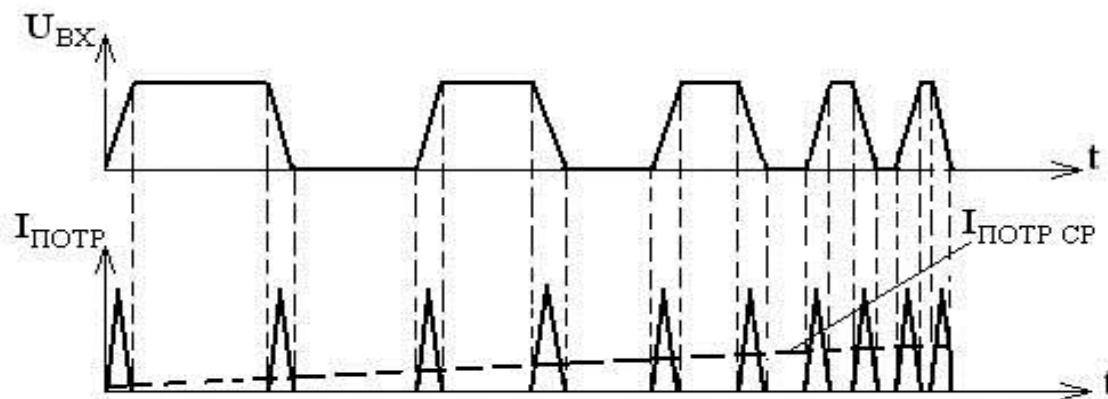


Схема КМОП-ключа (а), эквивалентные схемы при различных сигналах управления на входе (б,в)



Логические элементы

Наиболее широко используемые логические операции :

инверсия (отрицание, логическое НЕ);

конъюнкция (логическое И);

дизъюнкция (логическое ИЛИ);

эквивалентность (исключающее ИЛИ).

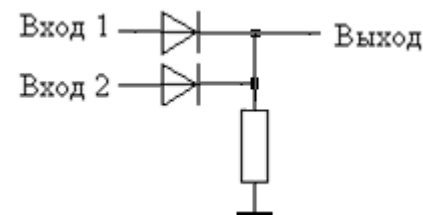
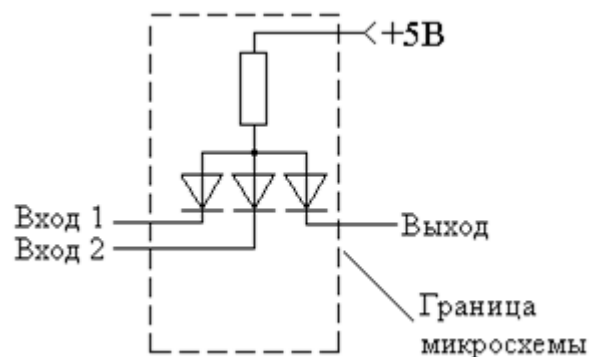
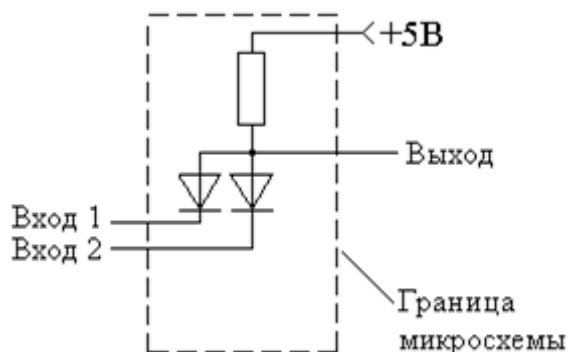
Способы реализации логических элементов:

ДТЛ-диодно-транзисторная логика;

ТТЛ-транзисторно-транзисторная логика;

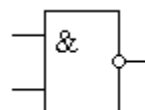
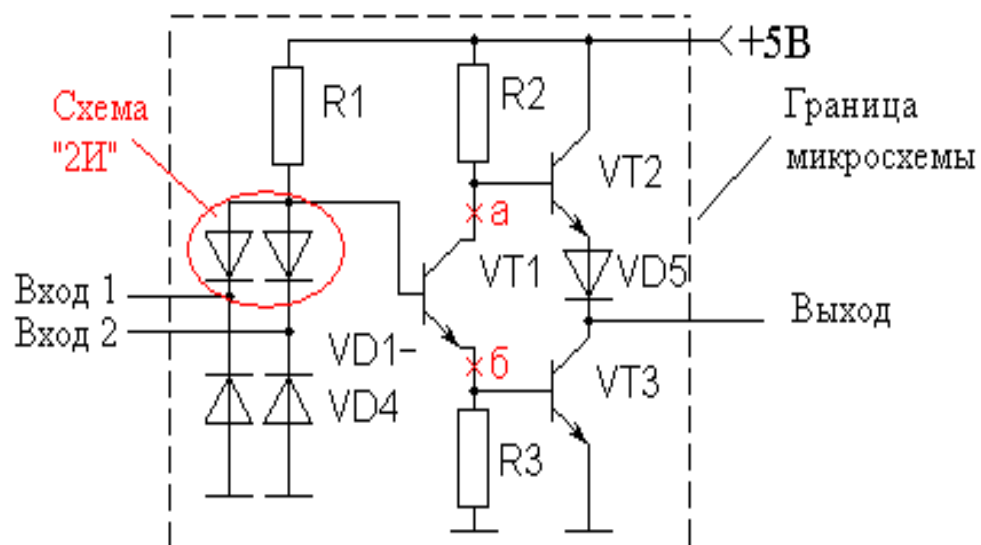
КМОП-логика (логика на основе КМОП транзисторов).

Логические элементы на диодах

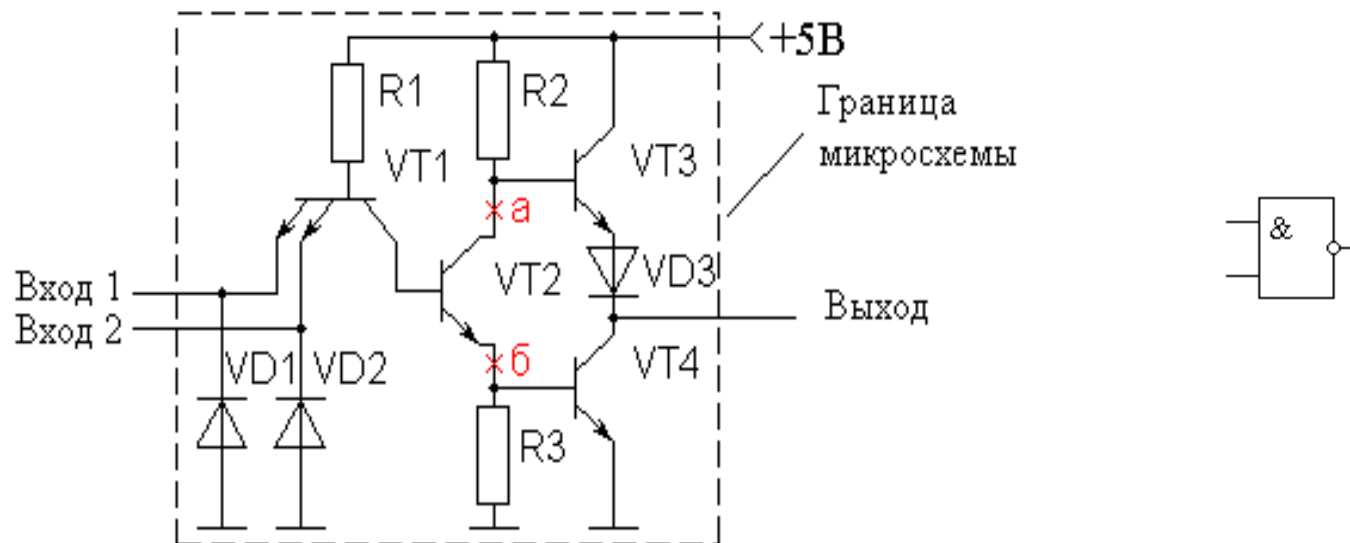


Логические элементы 2И и элемент 2ИЛИ

Базовый элемент ДТЛ-логики 2И-НЕ



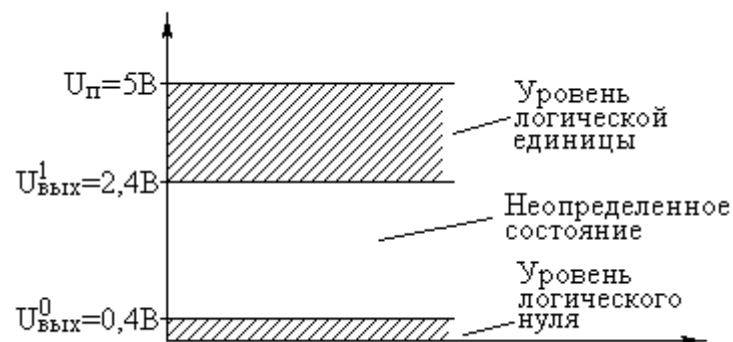
Базовый элемент ТТЛ-логики 2И-НЕ



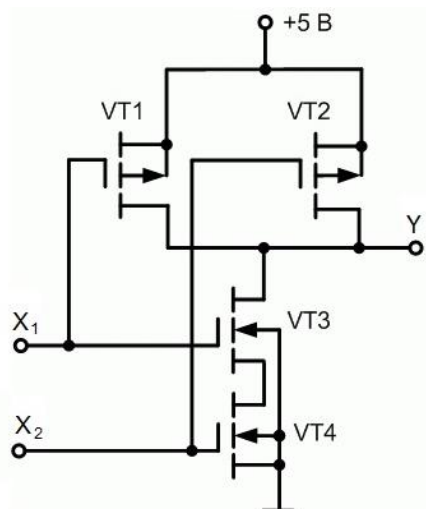
ТТЛ-уровни сигналов:

«0» $\leq 0,4$ В

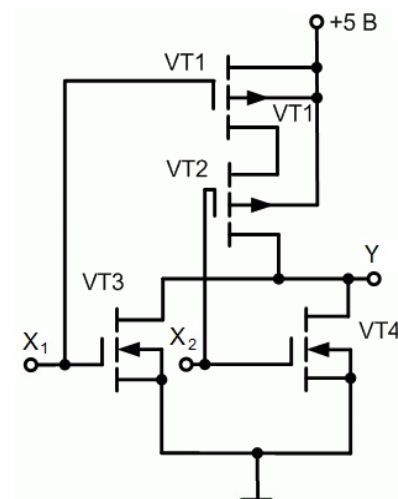
«1» $\geq 2,4$ и ≤ 5 В.



Логические элементы на КМОП-транзисторах



Элементы 2И-НЕ



2ИЛИ-НЕ

Комбинационные схемы

Комбинационные схемы (КС) — это схемы, у которых выходные сигналы $Y=(y_1, y_2, \dots, y_m)$ в любой момент дискретного времени однозначно определяются совокупностью входных сигналов $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$, поступающих в тот же момент времени t .

Каждый из m выходных сигналов y_i комбинационной схемы описывается логической (булевой) функцией:

$$y_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

Запись логических функций осуществляется в различных формах. Наиболее часто используется **совершенная дизъюнктивная нормальная форма (СДНФ)**, при которой логическая функция записывается в виде дизъюнкции (логической суммы) слагаемых, каждое из которых есть конъюнкция всех аргументов (прямых и инверсных). Причем учитываются только значения логической функции, равной единице, а в произведениях записывают инверсии тех аргументов, значения которых в этом случае равны нулю.

Например, логическая функция элемента И-НЕ запишется в виде:

$$y = \bar{x}_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2 + \bar{x}_1 \bar{x}_2$$

Для построения любой КС необходима таблица истинности ее функционирования (составляется или задается). Затем составляется функция зависимости каждого выхода схемы от входа (в форме СДНФ, которую затем можно перевести в упрощенную форму) и производится построение схемы на определенных логических элементах (чаще всего на И-НЕ и ИЛИ-НЕ).

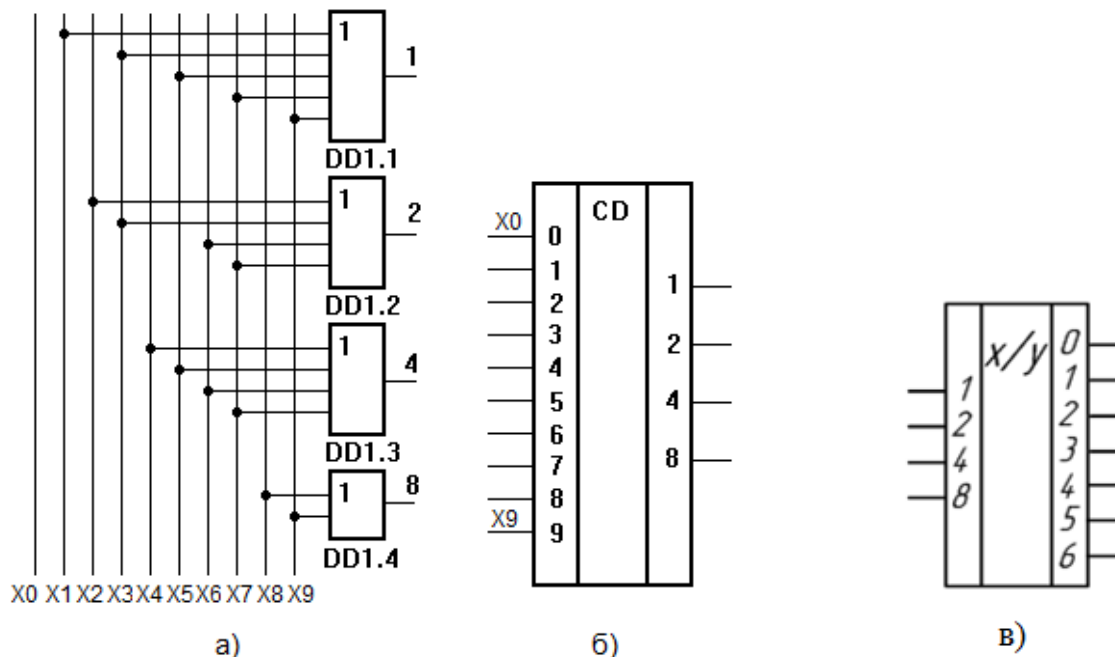
Шифраторы

Шифратор (кодер) преобразует сигнал на одном из входов в n -разрядное двоичное число. Если шифратор имеет n выходов, число его входов должно быть не более чем 2^n . Шифратор, имеющий 2^n входов и n выходов, называется *полным*. Если число входов шифратора меньше 2^n , он называется *неполным*. Таблица истинности неполного шифратора на 9 входных линий приведена в таблице 5.2.

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	y_3	y_2	y_1	y_0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1

Шифраторы

Функциональная схема шифратора, преобразующего десятичные цифры в 4-разрядное двоичное число, приведена на рисунке а), а его условное обозначение – на рисунке б).



Одной из разновидностей шифраторов являются преобразователи кодов (ПК). Преобразователь кода – это комбинационное устройство, в котором каждой входной бинарной комбинации (входному слову) соответствует другая комбинация (выходное слово), причем, разрядности входной и выходной комбинации могут различаться. Условное графическое обозначение преобразователя кода в схемах показано на рис.в).

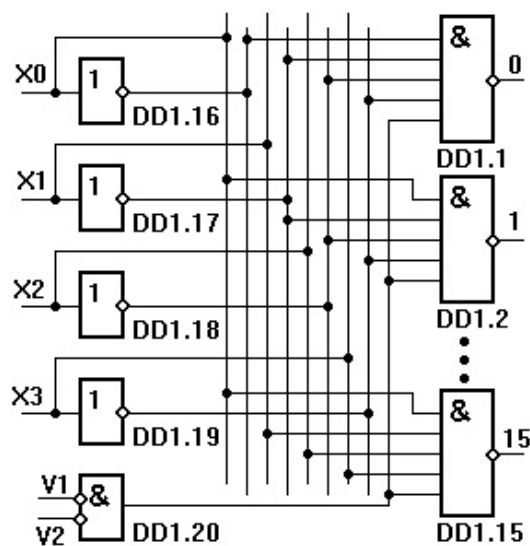
Дешифраторы

Дешифратор (декодер) – это комбинационная схема, у которой логическая единица на одном выходе при нулевых сигналах на остальных выходах соответствует определенному коду на входе (табл.5.3). Следовательно, дешифратор (ДШ) преобразует код, поступающий на его входы, в активный сигнал только на одном из его выходов.

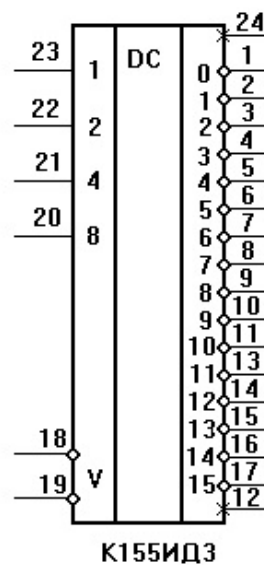
В дешифраторах с **прямым выходом** активным сигналом является высокий уровень напряжения (логическая 1), а в ДШ с **инверсным выходом** активным сигналом является низкий уровень напряжения, близкий к нулю (логический 0). Дешифратор n -разрядного двоичного числа имеет максимум 2^n выходов. Такой ДШ называется **полным**. Если количество выходов ДШ меньше максимального значения, то дешифратор называется неполным. Таблица истинности двухразрядного дешифратора показана на рисунке.

x_1	x_2	y_0	y_1	y_2	y_3
0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

Схема и условное обозначение дешифратора



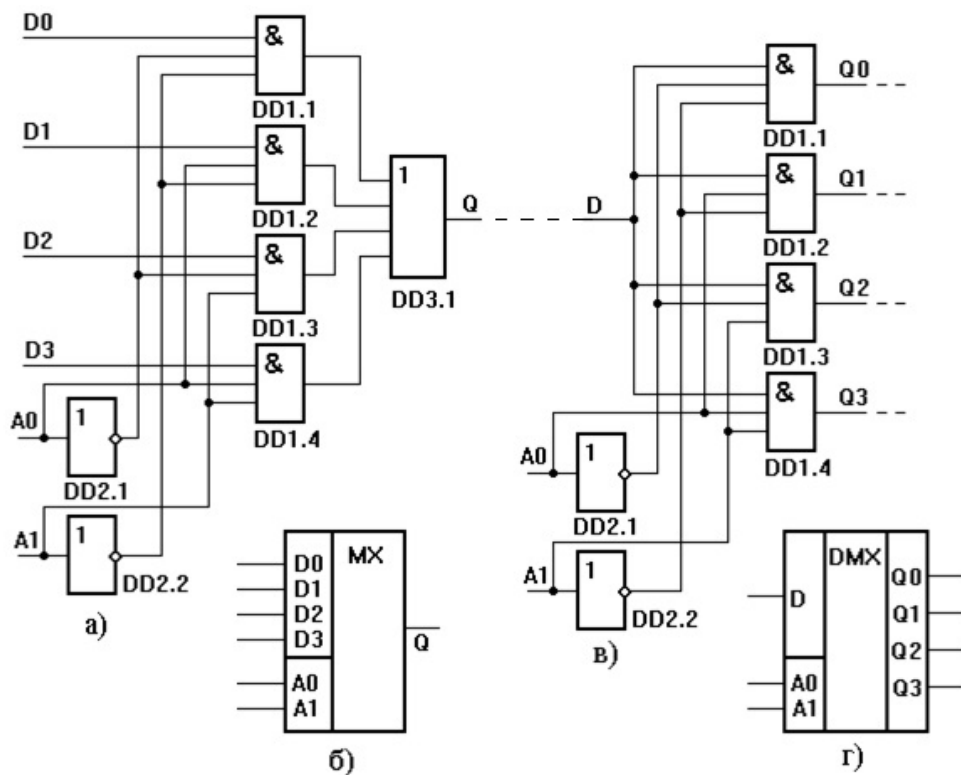
а)



б)

Мультиплексоры и демультиплексоры

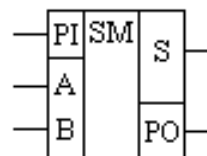
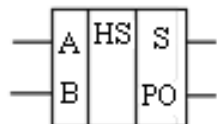
Мультиплексор это устройство, обеспечивающее соединение одного из множества информационных входов с единственным выходом. Номер информационного входа, который соединяется с выходом, задается в двоичном коде на адресных входах. Если мультиплексор имеет n адресных входов, то в нем может быть 2^n информационных входов. **Демультиплексор** это устройство, обеспечивающее соединение одного из множества информационных выходов с единственным входом. Номер информационного выхода, который соединяется с входом, задается в двоичном коде на адресных входах.



Двоичные сумматоры

Четыре арифметические операции технически реализуются на основе двоичного сумматора, т.к. элементарные цифровые устройства могут выполнять только операцию суммирования двух чисел.

Не зависимо от разрядности используемых сумматоров, все они строятся на основе одноразрядного двоичного сумматора. Существуют два вида двоичных сумматоров: неполный и полный.



Таблицы истинности неполного и полного сумматоров

A	B	S	PO
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

PI	A	B	S	PO
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Логические уравнения, полученные на основе таблицы для полусумматора и полного сумматора имеют вид:

$$S = \bar{A}B + A\bar{B} = A \oplus B ; \quad PO = AB .$$

$$S = \bar{PI}(\bar{A}B + A\bar{B}) + PI(\bar{A}\bar{B} + AB) = PI \oplus (A \oplus B) .$$

$$PO = AB + PI(\bar{A}B + A\bar{B}) = AB + PI(A \oplus B) .$$

Многоразрядные двоичные сумматоры

Для построения многоразрядного сумматора, необходимо соединить входы и выходы переносов соответствующих двоичных разрядов.

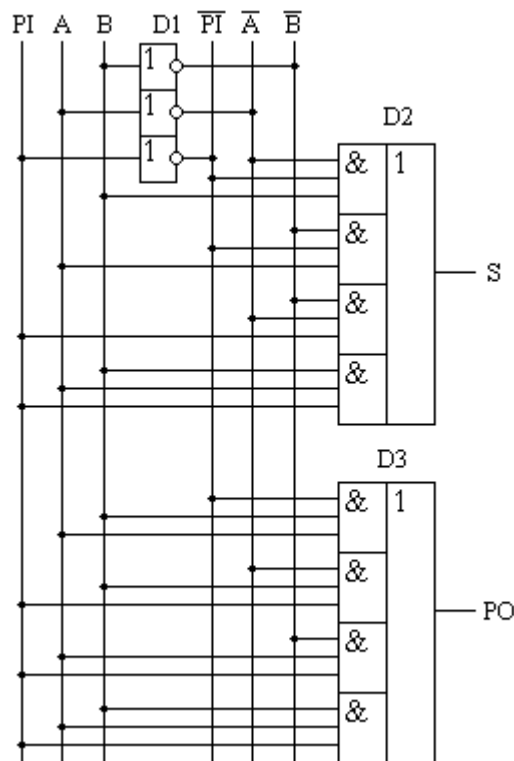


Схема полного сумматора

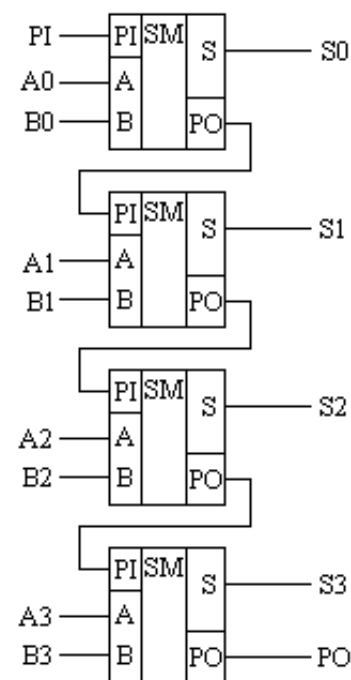
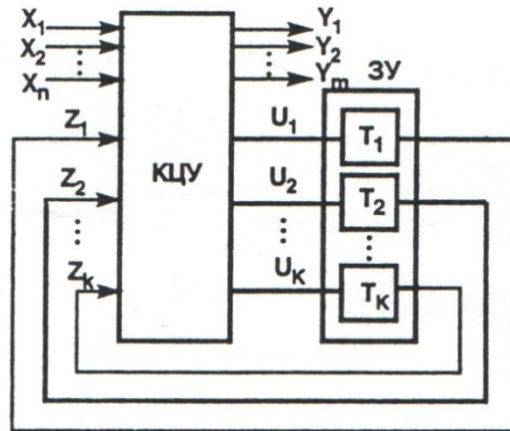


Схема 4-разрядного сумматора

Последовательностные цифровые устройства

Последовательностные цифровые устройства (ПЦУ) характеризуются тем, что выходные сигналы зависят не только от текущих значений входных сигналов, но и от последовательности значений входных сигналов, поступивших на входы в предшествующие моменты времени.



В его состав входит комбинационное цифровое устройство (КЦУ) и запоминающее устройство (ЗУ), состоящее из ячеек памяти, реализованных с помощью триггеров Т.

Триггеры

Триггеры – устройства, имеющие два устойчивых состояния, служащие для запоминания двоичной информации. Триггеры относятся к цифровым автоматам. В отличие от комбинационных схем состояние на выходе триггера в данный момент времени определяется не только состояниями на входах триггера в этот же момент времени, но и предыдущим состоянием триггера.

Состояния триггера определяются по **логическим уровням** на его выходах.

Входы триггера разделяются на информационные и управляющие.

Информационные входы обозначаются следующим образом:

S (от англ. SET) — вход для установки триггера в состояние «1»;

R (от англ. RESET) — вход для установки триггера в состояние «0»;

J (*Jump* –прыжок) — вход для установки в состояние «1» в универсальном триггере;

K (*Kill* –отключение) — вход для установки в состоянии «0»;

T (*Toggle* – переключатель) — счётный (общий) вход;

D (*Data*) — вход для установки в состояние «1» или состояние «0».

Управляющие входы обозначаются:

V (Valid) — для разрешения приёма информации (иногда обозначается буквой E);

C (*Clock*)— Вход синхронизации;

OE (*Output Enable*) – разрешение выхода.

Обычно название триггера связано с имеющимися у него входами:

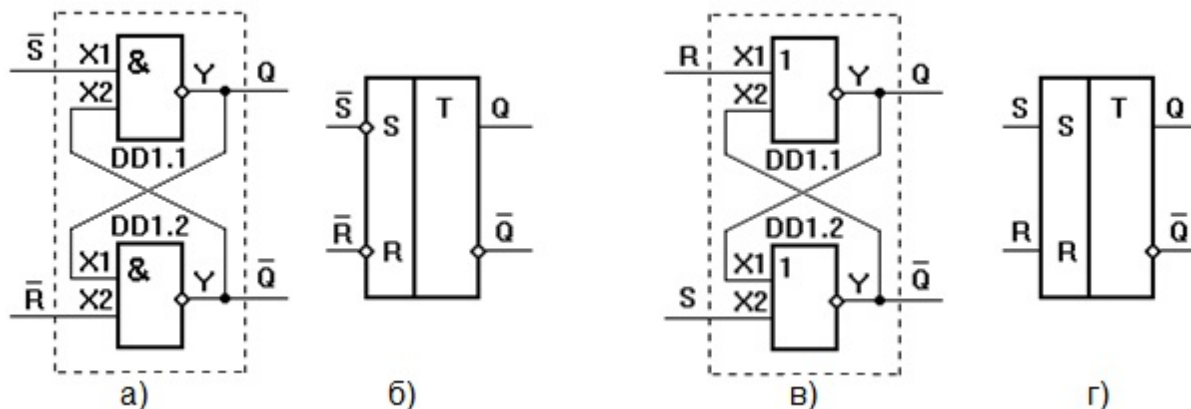
RS-триггер, **JK**-триггер, **D**-триггер и др.

Триггеры

По способу записи информации триггеры подразделяются на асинхронные и синхронные. В *асинхронных триггерах* состояние на выходе изменяется сразу же после изменения сигнала на информационных входах. В *синхронных триггерах* для передачи сигнала с информационных входов на выходы требуется специальный синхронизирующий (стробирующий) импульс. Синхронные триггеры подразделяются на триггеры со статическим управлением и триггеры с динамическим управлением. В триггерах с динамическим управлением передача сигнала с информационных входов на выходы осуществляется по фронту или по спаду синхронизирующего импульса.

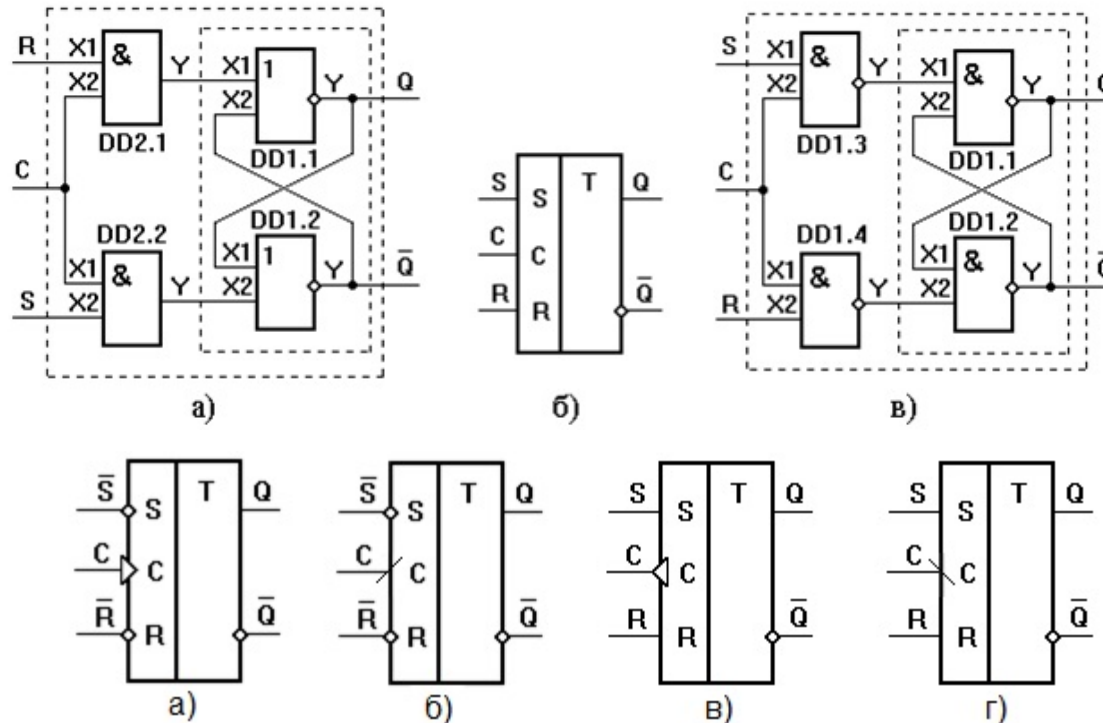
RS-триггеры

Наибольшее распространение получили RS-триггеры, построенные на логических элементах 2И-НЕ или 2ИЛИ-НЕ. На рисунке 6.2,а приведена функциональная схема RS-триггера с инверсными входами на двух логических элементах 2И-НЕ, а на рисунке 6.2,б – его условное обозначение на принципиальных схемах.



Синхронные и динамические RS-триггеры

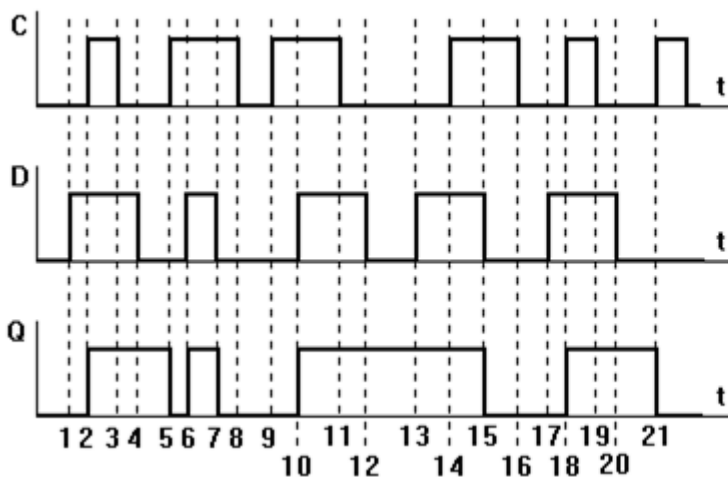
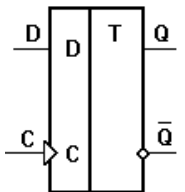
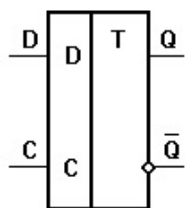
Синхронные триггеры подразделяются на триггеры со статическим управлением и триггеры с динамическим управлением. В триггерах с динамическим управлением передача сигналов с информационных входов на выходы осуществляется по фронту синхронизирующего импульса, либо по спаду синхронизирующего импульса.



Если в обозначении синхронного RS-триггера с динамическим управлением **стрелочка** на входе С **направлена к триггеру** (а) или имеется наклонная черта вправо (б), то переключение триггера происходит по **переднему фронту синхроимпульса**, а если **стрелочка направлена от** обозначения триггера (в) или имеется наклонная черта влево (г), то переключение триггера осуществляется **по спаду** (заднему фронту) импульса С.

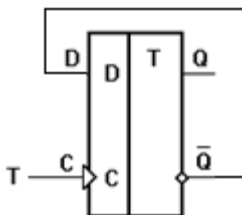
D-триггеры со статическим и динамическим управлением

D-триггер воспринимает информацию с входа D и передает ее на выход Q при $C=1$, и затем хранит ее сколько угодно долго (пока подключен источник питания) при $C=0$. Т.е. мы имеем ячейку памяти для хранения 1 бита информации.



Вход	Синх.	Выход
D	C	Q
0	1	0
1	1	1

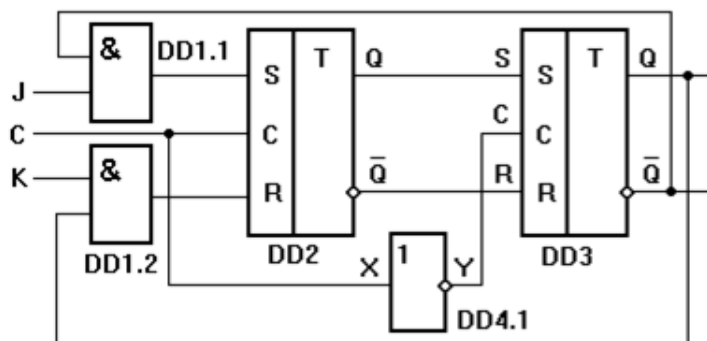
Временная диаграмма (а) и таблица истинности (б) D-триггера



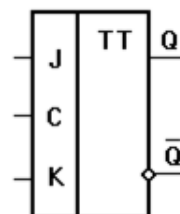
D-триггер в режиме счетного Т-триггера

JK-триггеры

В JK-триггере устранена неопределенность, возникающая в RS-триггере при одновременной подаче активных логических сигналов на входы R и S. Это достигается за счет использования двухступенчатой схемы с обратными связями



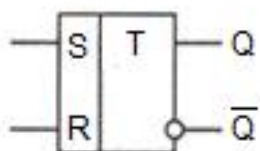
а)



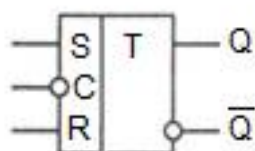
б)

Вход		Выход
J	K	Q
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	\bar{Q}

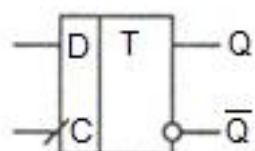
в)



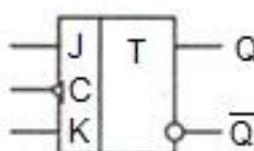
а)



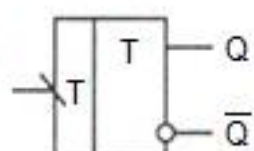
б)



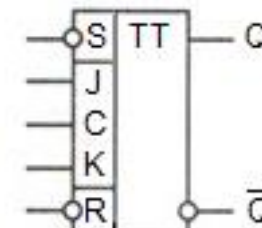
в)



г)



д)



е)

Условные графические обозначения различных типов триггеров

Счетчики электрических импульсов

Счетчиком называют цифровое устройство, обеспечивающее подсчет числа электрических импульсов. Коэффициент пересчета счетчика равен минимальному числу импульсов, поступивших на вход счетчика, после которых состояния на выходе счетчика начинают повторяться, начиная с нулевого.

Счетчики бывают суммирующие, вычитающие и реверсивные.

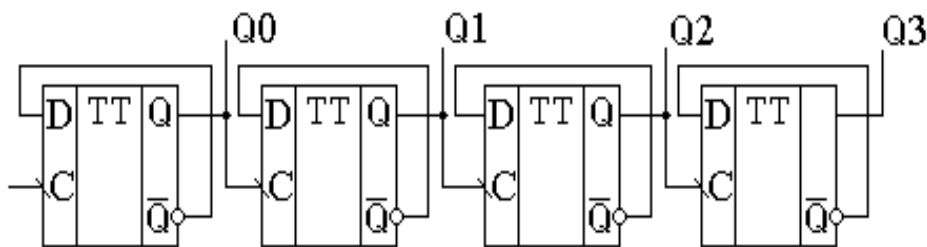
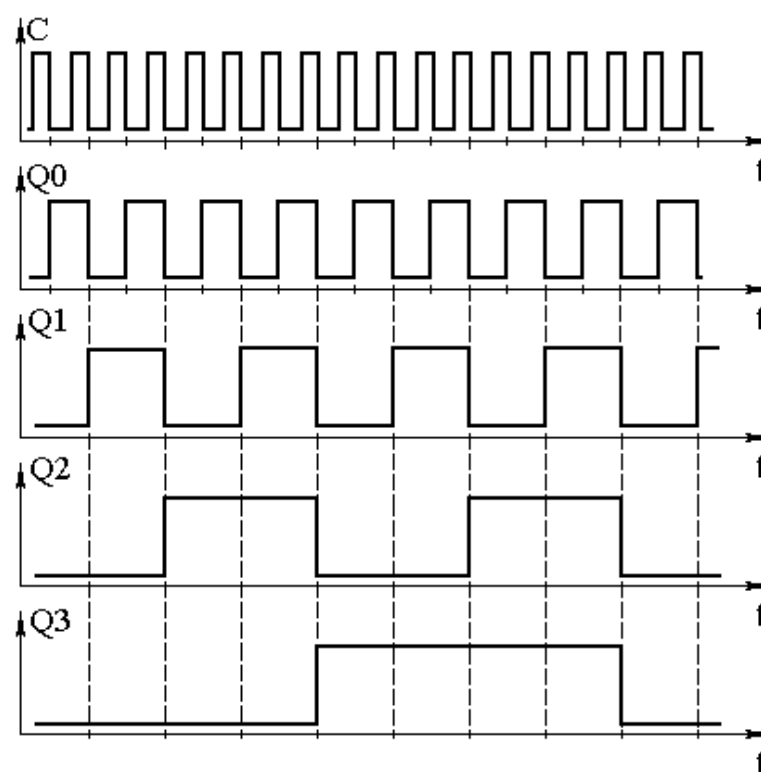
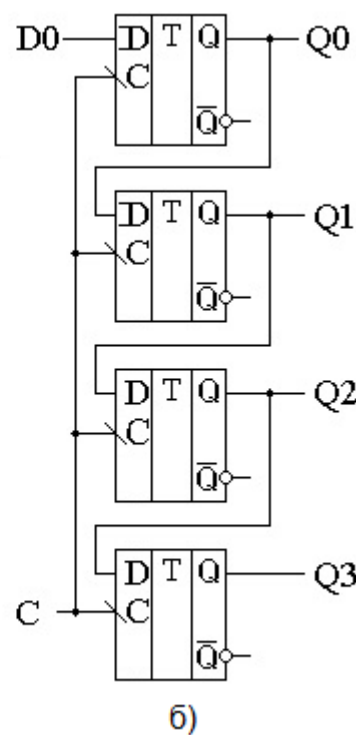
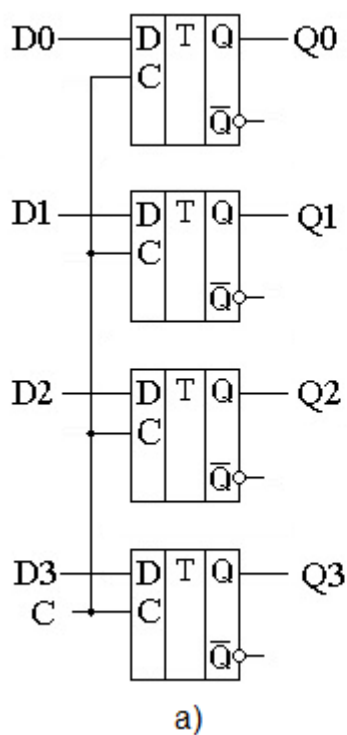


Схема четырёхразрядного счётчика
на D-триггерах



Регистры

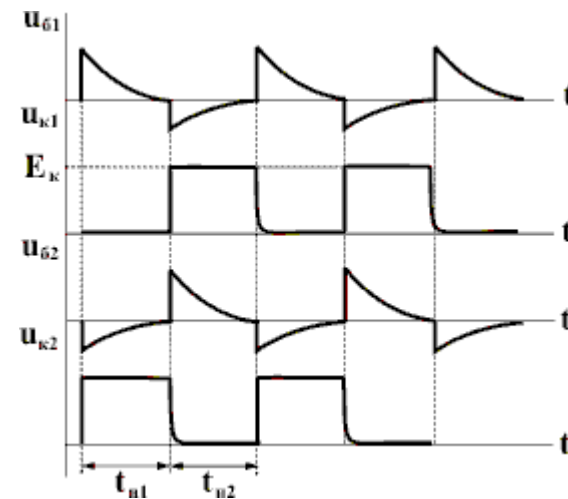
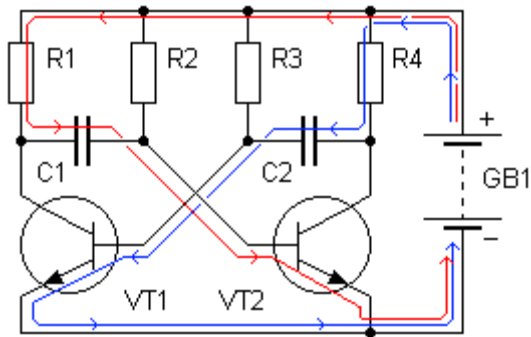
Регистр — это последовательностное логическое устройство, используемое для хранения n -разрядных двоичных чисел и выполнения преобразований над ними. Подразделяются на параллельные (а) и последовательные (б)



Генераторы импульсных сигналов

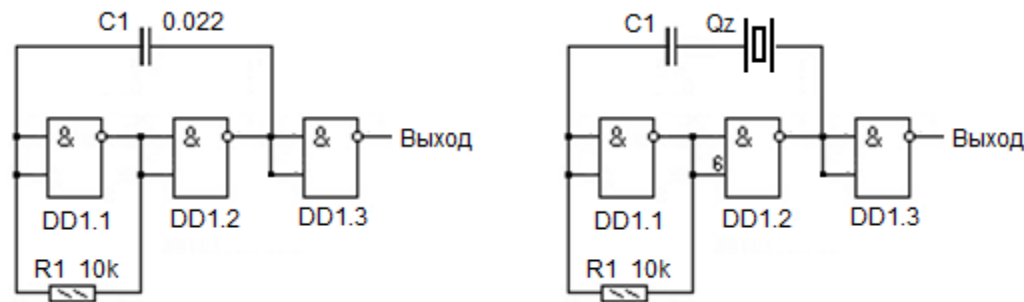
Генераторы импульсов могут работать в **автоматическом** режиме и в **ждущем режиме** — режиме внешнего запуска. В автогенераторах колебания на выходе возникают сразу при подаче питания.

Генераторы с внешним запуском вырабатывают одиночный импульс с фиксированной длительностью при поступлении на его вход импульса запуска. Такие генераторы получили название **одновибраторы**.



Мультивибраторы на логических элементах

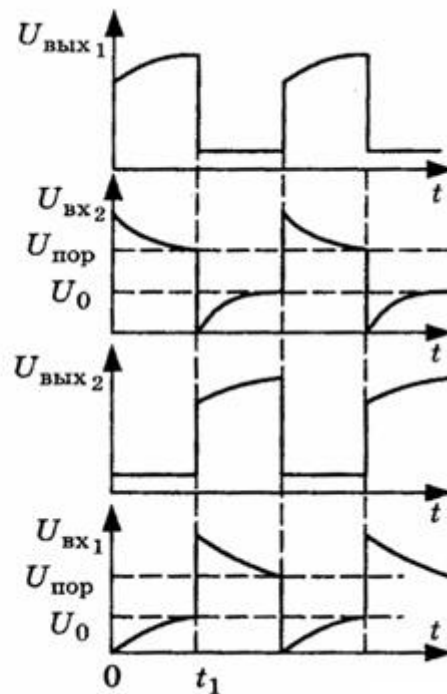
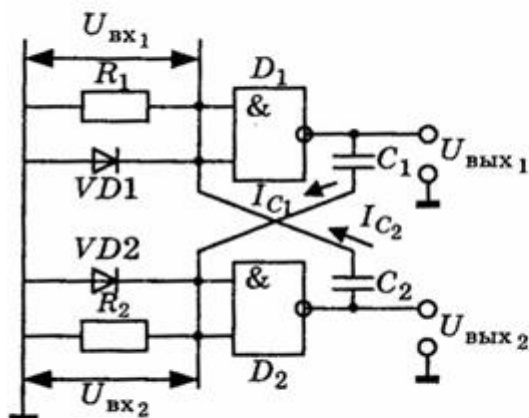
В настоящее время большинство генераторов прямоугольных импульсов строятся на логических интегральных элементах. Автоколебания в таких схемах обеспечиваются за счет заряда и разряда одного или двух конденсаторов через резисторы.



В процессе заряда конденсатора C1 по цепи: выход DD1.2 - C1 - R1 - DD1.1 - сигнальная земля, на сопротивлении R1 создается напряжение, равное уровню логической 1. Пока это напряжение превышает пороговое, на выходе DD1.1 будет «0», а на выходе DD1.2 – «1». По мере заряда конденсатора при уменьшении напряжения на R1 инверторы переключаются в противоположные состояния и происходит разряд конденсатора. Частоту генерации можно определить по приближенной формуле

$$F \approx \frac{0,7}{RC}$$

Симметричный мультивибратор на элементах И-НЕ



Логические элементы D_1 и D_2 включены в режиме инверторов. Резисторы R_1 и R_2 совместно с конденсаторами C_1 и C_2 выполняют роль времязадающих цепей мультивибратора. Диоды VD_1 , VD_2 , шунтирующие резисторы, защищают входы схемы от больших выбросов напряжений, возникающих на резисторах при разряде конденсаторов через насыщенные выходные транзисторы элементов D_1 , D_2 .