

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Колледж электроники и бизнеса

Кафедра электронной техники и физики

В.В. ПРОХОДЦЕВ

# ИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНИКА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2003

ББК 32.842  
П 78  
УДК 621.317:621.374(075.3)

Рецензент  
преподаватель общепрофессиональных и специальных дисциплин  
кафедры электронной техники и физики А.П. Рыжков

П 78      **Проходцев В.В.**  
**Импульсная техника: Конспект лекций.– Оренбург: ГОУ**  
**ВПО ОГУ, 2003. – 37с.**

Конспект лекций включает в себя вопросы специальной дисциплины «Импульсная техника». В их числе методы формирования импульсных сигналов, схемы электронных ключей, формирующих устройств, генераторов прямоугольных импульсов, триггеров, в т.ч. и в интегральном исполнении.

Данный конспект лекций предназначен для студентов, обучающихся по специальности 2014 «Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники».

ББК 32.842

© Проходцев В.В., 2003

© ГОУ ВПО ОГУ, 2003

## **Введение**

Курс «Импульсная техника» является важной составной частью подготовки специалистов в области радиоэлектроники. Он относится к специальным дисциплинам по специальности номер 2014 «Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники».

Курс предусматривает знакомство студентов с методами формирования импульсных сигналов, основными схемами электронных ключей, генераторов прямоугольных импульсов, триггеров. Схемы рассмотрены как в дискретном, так и в интегральном исполнении.

# 1 Общие сведения об импульсных сигналах и процессах

## 1.1 Основные понятия и классификация импульсов

Импульсом электрической величины называется кратковременное воздействие (от единиц секунд до наносекунд) этих величин на нагрузку.

Импульсные устройства – это устройства, использующие и формирующие импульсные сигналы. Они классифицируются:

а) по форме

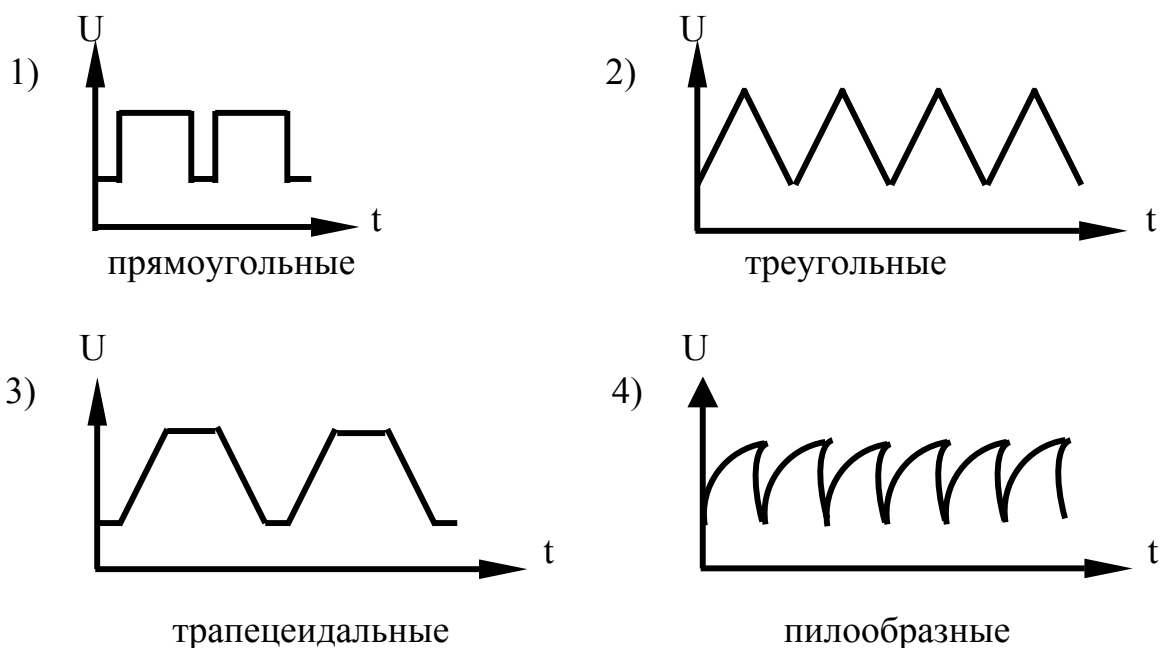


Рисунок 1.1 – Классификация импульсных сигналов по форме

б) по полярности

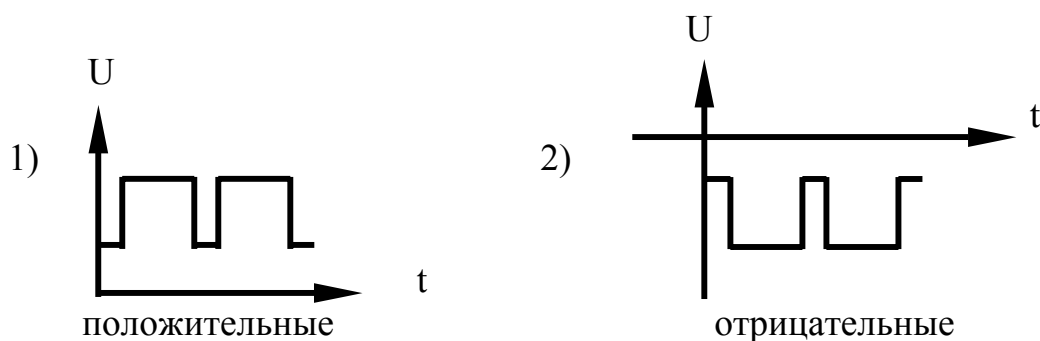


Рисунок 1.2 – Классификация импульсных сигналов по полярности

### Рисунок 1.3 – Параметры реального импульса

Параметры реального импульса:

$U_0$  – постоянная составляющая напряжения в импульсе;

$U_m$  – амплитуда – это максимальное значение напряжения, силы тока или мощности в импульсе;

$\tau_\phi$  – длительность фронта – это промежуток времени, в течение которого напряжение в импульсе возрастает от 0,1 до 0,9 от амплитудного значения  $U_m$ .

$\tau_{ср.}$  – длительность среза – это промежуток времени, в течение которого напряжение в импульсе убывает от 0,9 до 0,1 от  $U_m$ .

$\tau_{и}$  – длительность импульса – измеряется на уровне 0,1 от  $U_m$ .

$\tau_a$  – активная длительность импульса – измеряется на уровне 0,5 от  $U_m$ .

### 1.2 Параметры серии импульсов

Последовательность прямоугольных импульсов и их параметры представлены на рисунке 1.4

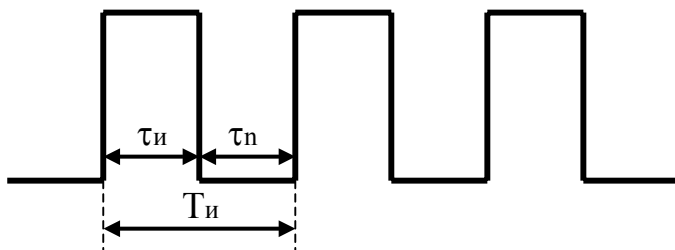


Рисунок 1.4 – Последовательность прямоугольных импульсов

$T_{и}$  - период следования импульсов – это промежуток времени от начала условно выбранного импульса до начала второго. Период равен сумме длительности паузы и импульса, измеряется в миллисекундах или в микросекундах.

$$T_{и} = \tau_{и} + \tau_{п}, \quad (1)$$

$F_{и}$  – частота следования импульсов – величина, обратная периоду.

$Q$  – скважность – отношение периода к длительности импульса

$$Q = T_{и} / \tau_{и}, \quad (2)$$

Для  $Q = 2$  – последовательность называется меандром.

$K_з$  – коэффициент заполнения – величина, обратная скважности.

$Q$  и  $K_з$  – величины безразмерные.

$$K_з = 1/Q = \tau_{и} / T_{и} \quad (3)$$

## 2 Формирование импульсов линейными цепями

### 2.1 Элементы преобразования импульсов

Линейные элементы – это элементы, параметры которых не зависят от величин приложенных силы тока и напряжения; характеристики элементов линейные.

К линейным элементам относятся:

а) резисторы  $R = \text{const}$ ;

б) конденсаторы, электрическая емкость которых постоянна и не зависит от величин силы тока и напряжения;

в) катушки индуктивности, у которых индуктивность постоянна и все характеристики линейны;

г) операционные усилители в области линейной части своей характеристики.

Вольтамперная характеристика линейного резистора – прямая линия, угол ее наклона определяется величиной сопротивления, показана на рисунке 2.1.

Условное обозначение операционного усилителя показано на рисунке 2.2, его амплитудная характеристика – рисунке 2.3.

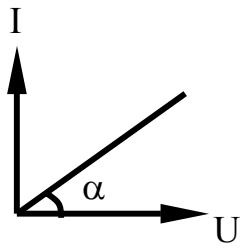


Рисунок 2.1 – Вольтамперная характеристика линейного резистора

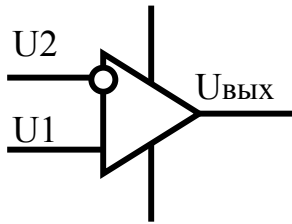


Рисунок 2.2 – Условное обозначение операционного усилителя

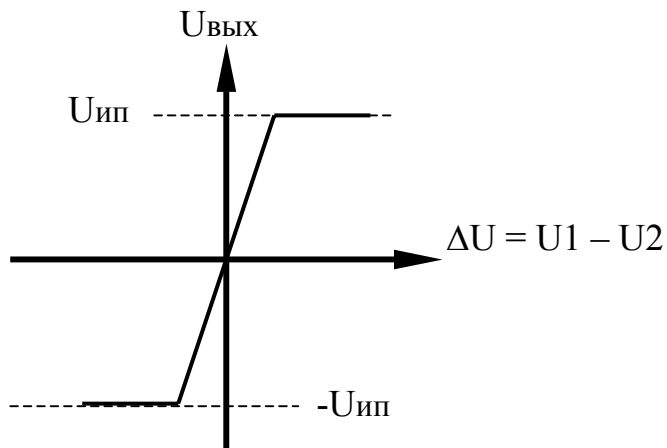


Рисунок 2.3 – Амплитудная характеристика операционного усилителя

$$U_{\text{ВЫХ}} = K_u \cdot (U_1 - U_2) = K_u \cdot \Delta U, \quad (4)$$

$$\Delta U = U_1 - U_2, \quad (5)$$

Операционный усилитель (ОУ) – монолитный интегральный усилитель с коэффициентом усиления в сотни тысяч и даже миллионы, с входным сопротивлением МОм, выходным кОм, имеет 2 входа – прямой ( $U_1$ ) и инверсный ( $U_2$ ); выход; выводы для подключения элементов коррекции частотной характеристики; выводы для подключения элементов балансировки –

установки нуля на выходе при равных входных напряжениях. Из формулы (4) видно, что за счет большого коэффициента усиления даже при малом напряжении, выходное напряжение резко возрастает и в положительном, и в отрицательном направлениях. Достигнув напряжения источника питания, усилитель входит в насыщение. В импульсной технике ОУ работают на линейных участках характеристики. Чем круче характеристики, тем лучше качество импульсов.

## 2.2 Передача импульсов через простейшие цепи

### 2.2.1 Воздействие прямоугольного импульса на RC - цепь

На рисунке 2.4 изображена RC – цепь и воздействие прямоугольного импульса на RC-цепь.

Графики воздействия прямоугольного импульса на RC – цепь представлены на рисунке 2.5.

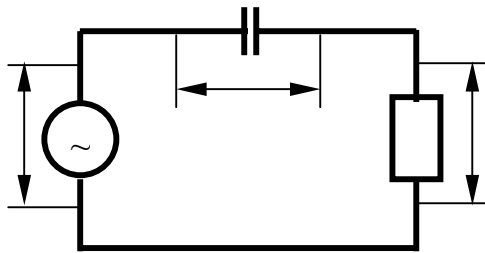


Рисунок 2.4 – RC-цепь



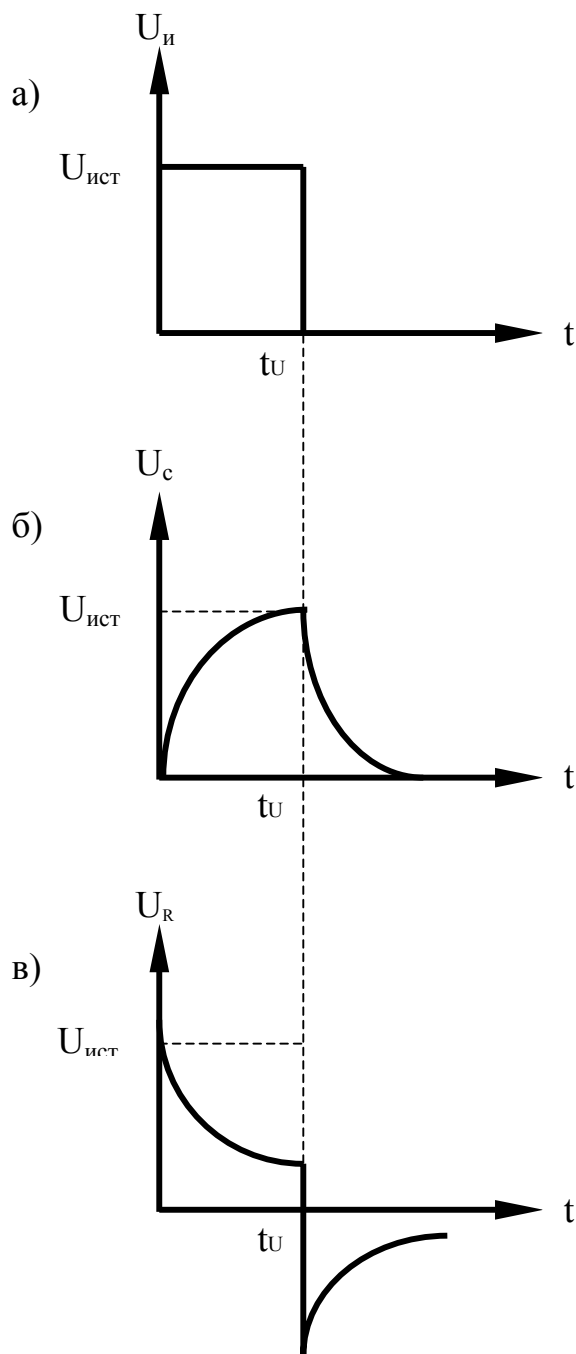


Рисунок 2.5 – Графики, иллюстрирующие воздействие прямоугольного импульса на RC-цепь: входное напряжение (а), напряжение на конденсаторе (б), напряжение на резисторе (в).

На RC-цепь действует импульс прямоугольного напряжения. В начальный момент времени при  $t = 0$ ,  $U_{\text{и}} = 0$  все напряжение импульса приложено к резистору. Ток заряда конденсатора максимальный и определяется по формуле (6).

$$I_3(0) = U_{\text{ист}} / R, \quad (6)$$

По мере заряда конденсатора напряжение на нем возрастает, и сила тока заряда  $I_3$  уменьшается. Для расчета цепей используют второй закон Кирхгофа и формулы (7) и (8).

$$U_R + U_C = U_{ист}, \quad (7)$$

$$I_3 * R + U_C = U_{ист}, \quad (8)$$

Ток заряда  $I_3$  и разряда конденсатора  $C$  зависит от емкости и от скорости изменения напряжения на нем и определяется по формуле (9).

$$I_3 = C * dU_C / dt, \quad (9)$$

Первая производная от напряжения по времени  $dU_C / dt$  и характеризует скорость изменения этого напряжения.

Подставляем формулу (9) в формулу (8) и получаем формулу (10)

$$R * C * dU_C / dt + U_C = U_{ист}, \quad (10)$$

Запишем решение данного дифференциального уравнения как формулу (11)

$$U_C = U_{ист} * (1 - e^{-t/\tau}), \quad (11)$$

где  $e$  – основание натурального логарифма;

$\tau = R * C$  – постоянная времени цепи.

Эта величина характеризует скорость переходных процессов в цепи. Чем она больше, тем меньше эта скорость и наоборот.

$$U_R = U_{ист} * e^{-t/\tau}, \quad (12)$$

Окончательно решение уравнения имеет вид:

$$U_C = U_{ист} * (1 - e^{-t/\tau}), \quad (13)$$

$$U_R = U_{ист} * e^{-t/\tau}, \quad (14)$$

Данным формулам соответствуют графики зависимости  $U_C$  и  $U_R$  от времени

Подставляем в формулу  $U_C$  значения текущего времени от 0 до  $5\tau$ . Результаты заносим в таблицу 1.

Таблица 1

t	0	$\tau$	$2\tau$	$3\tau$	$4\tau$	$5\tau$
$U_C$	0	$0,632U_{и}$	$0,865U_{и}$	$0,95U_{и}$	$0,982U_{и}$	$0,995U_{и}$

Из таблицы видно, что за время, равное  $\tau$  конденсатор заряжается на 63,2 процента от  $U_{ист}$ .

### 2.2.2 Воздействие прямоугольного импульса на RL-цепь

RL – цепь показана на рисунке 2.6.

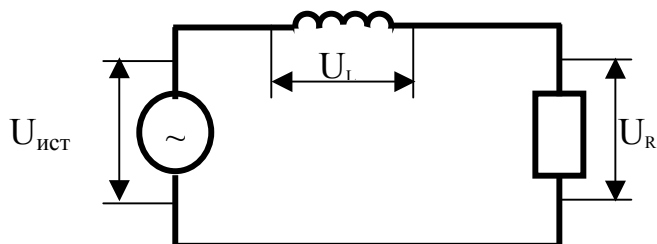


Рисунок 2.6 – RL-цепь

По второму закону Кирхгофа

$$U_L + U_R = U_{ист}, \quad (15)$$

$$U_{ист} = L \cdot dI / dt + I \cdot R, \quad (16)$$

где  $L$  – индуктивность катушки;  
 $dI/dt$  – скорость изменения тока в катушке.  
Решения дифференциального уравнения:

$$U_L = U_{ист} \cdot e^{-t/\tau}, \quad (17)$$

$$U_R = U_{ист} \cdot (1 - e^{-t/\tau}), \quad (18)$$

где  $\tau = L/R$  - постоянная времени цепи.

Из анализа формул следует, что график  $U_L(t)$  для RC-цепи соответствует графику  $U_R(t)$  для RL-цепи и наоборот.

## 2.3 Операционные цепи

С помощью этих цепей производятся операции дифференцирования и интегрирования входного сигнала.

### 2.3.1 Дифференцирующая цепь

Дифференцирующая цепь показана на рисунке 2.7. В этой цепи выходное напряжение пропорционально производной от входного напряжения и рассчитывается по формуле (19)

$$U_{\text{ВЫХ}} = a * dU_{\text{ВХ}} / dt, \quad (19)$$

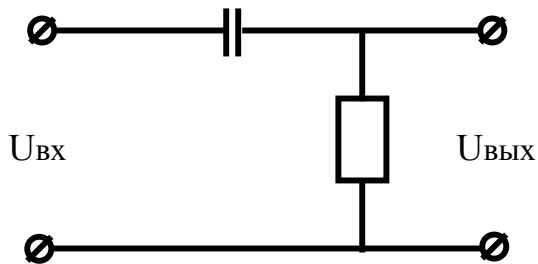


Рисунок 2.7 – Дифференцирующая цепь

В простейшей цепи конденсатор преобразует входное напряжение в ток, пропорциональный производной от входного напряжения. Этот ток, проходя через резистор  $R$ , создает на нем падение выходного напряжения, пропорциональное производной от входного.

Графики, иллюстрирующие работу цепи, показаны на странице 14.

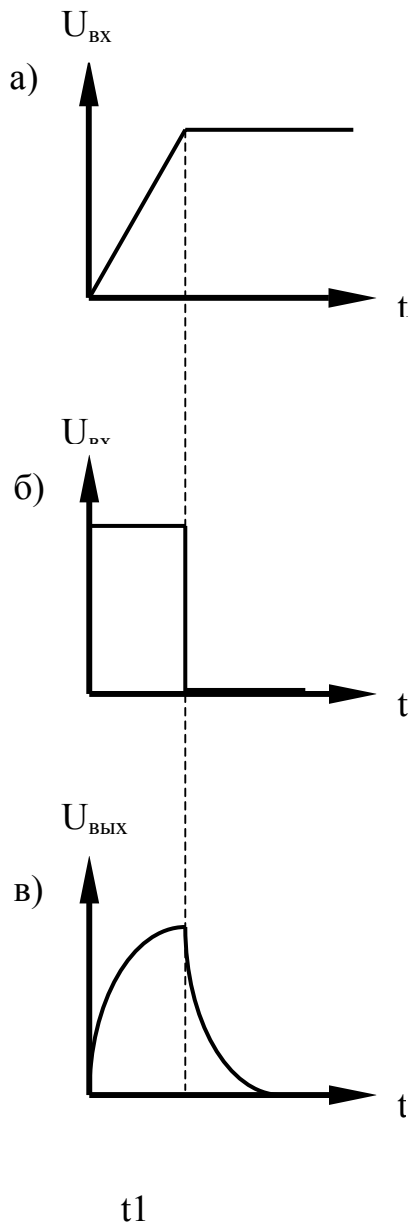


Рис. 2.8 – Графики, иллюстрирующие работу цепи; дифференцируемый сигнал (а), напряжение, пропорциональное производной от входного сигнала (б), напряжение на выходе дифференцирующей цепи (в).

В интервале времени от 0 до  $t_1$  происходит рост входного напряжения с постоянной скоростью. При  $t > t_1$  скорость изменения входного сигнала равна нулю, поэтому производная выходного напряжения постоянна при  $t < t_1$  и равна нулю при  $t > t_1$ . В реальных схемах форма выходного напряжения зависит от постоянной времени, поэтому реальный импульс имеет ненулевые фронт и срез. Для качественного дифференцирования выбирают сопротивление и емкость такими, чтобы постоянная времени была бы в 10 раз меньше фронта и среза импульса входного напряжения.

Для повышения качества дифференцирования строят дифференциаторы на базе операционных усилителей, включенных по инвертирующей схеме, где в цепь обратной связи, соединяющей выход с инвертирующим входом, входит резистор R2. За счет большого коэффициента усиления  $K_u$  и входного сопротивления качество дифференцирования гораздо выше.

Схема дифференциатора представлена на рисунке 2.9.

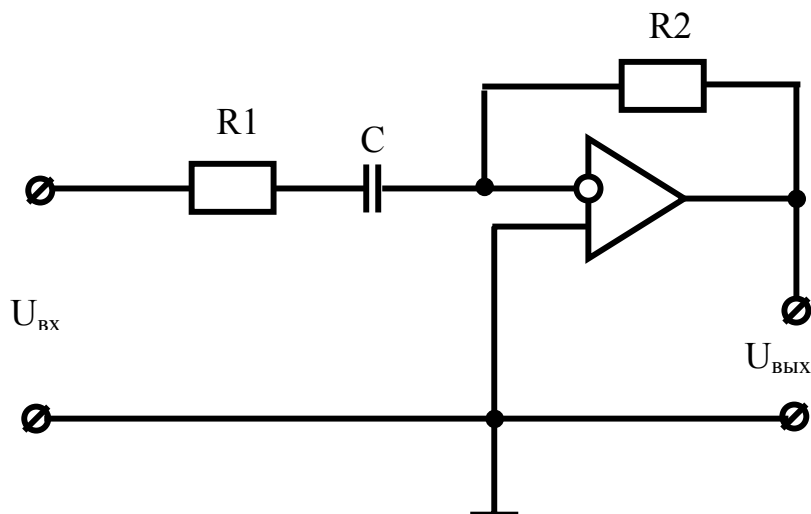


Рисунок 2.9 – Схема дифференциатора

### 2.3.2 Интегрирующая цепь

Напряжение на выходе этой цепи пропорционально интегралу от входного напряжения. Схема интегрирующей цепи представлена на рисунке 2.10.

$$U_{\text{ВЫХ}} \sim \int_0^t U_{\text{ВХ}}(t) dt, \quad (20)$$

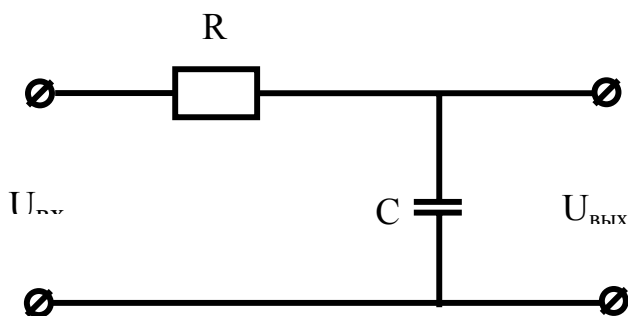


Рисунок 2.10 – Интегрирующая цепь

При подаче на вход схемы напряжения конденсатор заряжается и интегрирует (суммирует) входное напряжение. Графики, иллюстрирующие работу цепи, показаны на странице 16.

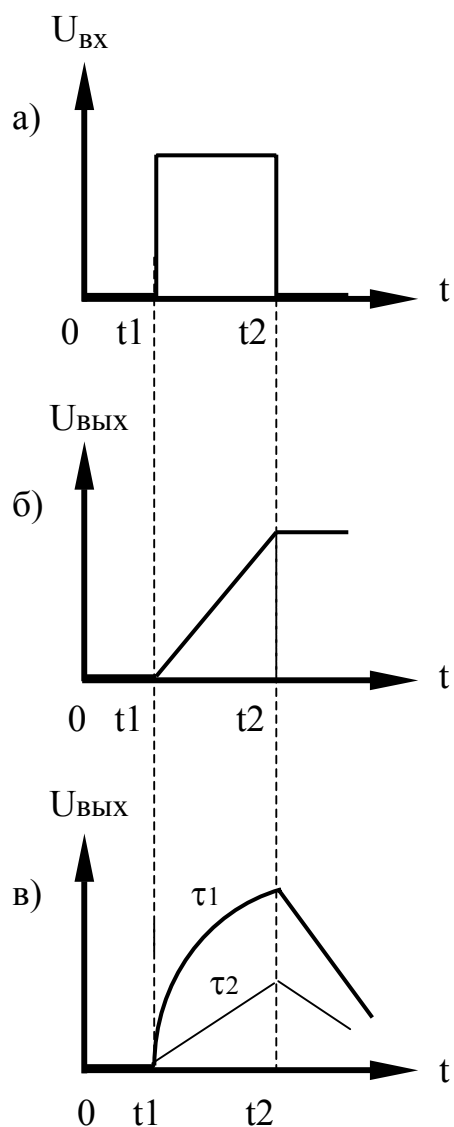


Рисунок 2.11 – Графики, иллюстрирующие работу цепи; интегрируемый прямоугольный импульс (а), напряжение, пропорциональное интегралу от входного напряжения (б), напряжение на выходе интегрирующей цепи, где  $\tau_2$  больше  $\tau_1$  (в)

В идеальном случае выходное напряжение - это линейная функция времени (б). В действительности – это нелинейная функция (в). По окончании импульса в момент времени  $t_2$  конденсатор сохраняет свое напряжение, и оно на выходе постоянно (б). В действительности происходит частичный разряд конденсатора и уменьшение напряжения на выходе (в). Для более качественного интегрирования необходимо, чтобы постоянная времени RC-цепи была бы примерно в десять раз больше фронта, и среза проинтегрируемого импульса на графике (в).

### 2.3.3 Интегратор

Схема интегратора представлена на рисунке 2.12

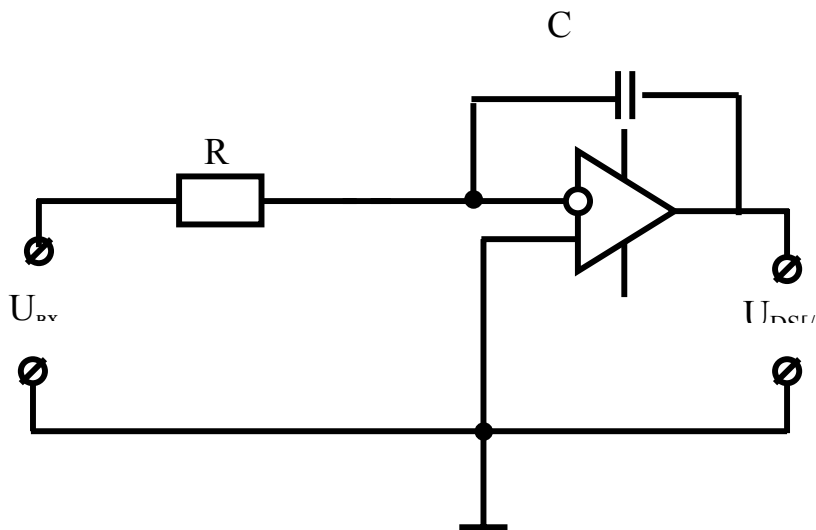


Рисунок 2.12 – Схема интегратора

За счет большого входного сопротивления и коэффициента усиления качество интегрирования интегратора гораздо выше, чем в обычной RC-цепи.

## 3 Нелинейные преобразователи импульсов

### 3.1 Электронные ключи

Электронным ключом называется схема, имеющая в общем случае  $N$  входов и  $K$  выходов. Схема изображена на рисунке 3.1.

Принцип работы электронного ключа представлен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.1 – Электронный ключ



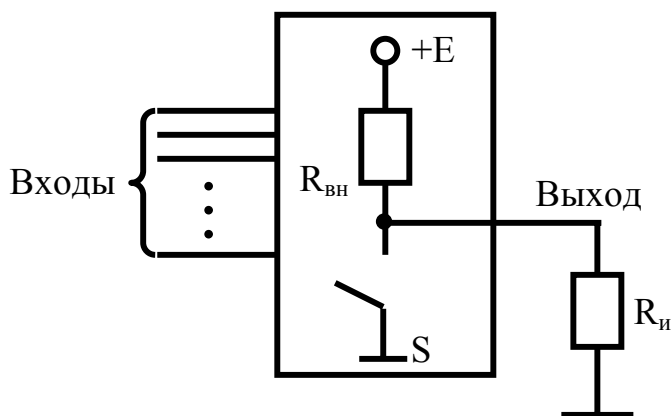


Рисунок 3.2 – Принцип работы электронного ключа

Принцип работы электронного ключа состоит в том, что под действием входных управляющих сигналов происходит подключение или отключение нагрузки от источника питания.

Если под действием внешних сигналов управления электрический контакт  $S$  разомкнут, то ток идет по цепи:  $+E$ ,  $R_{вн}$ ,  $R_n$  корпус, следовательно, источник подключен к нагрузке. Если контакт  $S$  замкнут, то нагрузка отключена.

Основное требование к электрическим ключам – их быстродействие, поскольку частоты переключения составляют тысячи и миллионы герцы. Поэтому их строят обычно на малоинерционных полупроводниковых элементах, диодах и транзисторах.

### 3.2 Диодные ключи

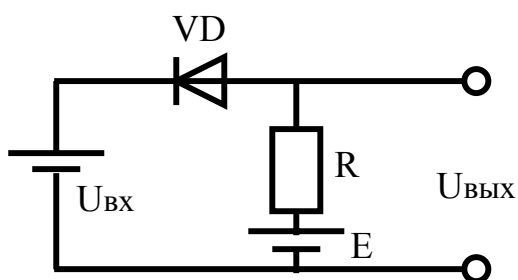


Рисунок 3.3 – Схема диодного ключа

Пусть  $U_{вх}=0$ , тогда  $VD$  открыт. В цепи идет ток:  $+E$ ,  $R$ ,  $VD$ , источник входа,  $-E$ . При этом на выход и на нагрузку прикладывается очень малое напряжение прямо включенного диода (ключ разомкнут). Пусть  $U_{вх}=E$ , тогда  $VD$  закрыт, ток отсутствует и  $U_{вых}=E$  (ключ замкнут).

Схема диодного ключа – на рисунке 3.3.

### 3.2.1 Диодная ключевая схема совпадения сигналов

Диодная ключевая схема совпадения сигналов представлена на рисунке 3.4.

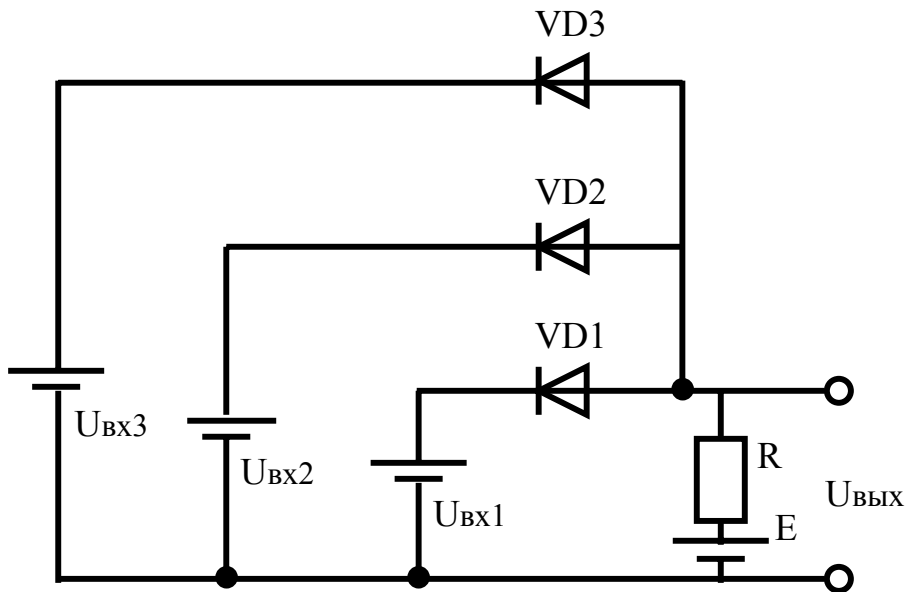


Рисунок 3.4 – Многовходовая диодная ключевая схема совпадения сигналов

$U_{ВЫХ}=E$  только в том случае, если все диоды закрыты, т.е. все  $U_{ВХ}=E$ . Если хотя бы одно  $U_{ВХ}=0$ , то соответствующий диод открывается, ключ размыкается и напряжение на нагрузке близко к нулю. Если по входам идут серии импульсов с различными периодами и длительностью, то ключ замыкается в случае одновременного присутствия всех импульсов, поэтому это схема совпадения сигналов.

### 3.2.2 Многовходовая ключевая схема объединения сигналов

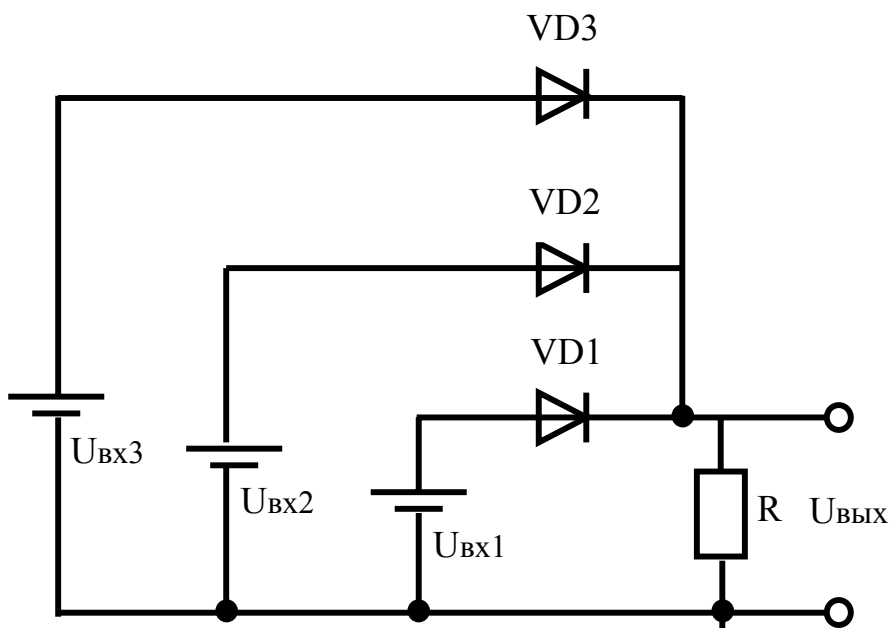


Рисунок 3.5 – Многовходовая диодная ключевая схема объединения сигналов

Ключ замкнут в том случае если хотя бы одно из  $U_{вх}=E$ . Если по входам идут серии импульсов, то ключ замкнут при наличии хотя бы одного импульса, поэтому это схема объединения сигналов.

Схема представлена на рисунке 3.5 на странице 19.

### 3.3 Транзисторные ключи

#### 3.3.1 Режимы работы транзистора

Структура биполярного транзистора представлена на рисунке 3.6.

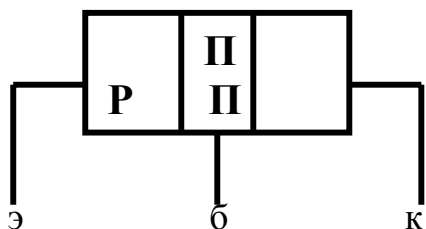


Рисунок 3.6 – Структура биполярного транзистора

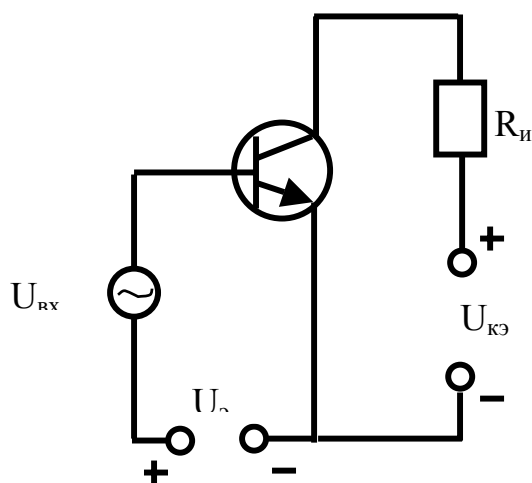


Рисунок 3.7 – Упрощенная схема электронного транзисторного ключа

В зависимости от постоянных напряжений между электродами транзистора существует три режима его работы:

а) Активный режим. Переход эмиттер - база открыт, переход коллектор – база закрыт. Ток коллектора не зависит от напряжения между коллектором и эмиттером, а зависит только от тока базы. Режим используется в усилителях.

б) Режим насыщения. Оба p-n перехода открыты. В этом режиме ток коллектора не зависит от тока базы, а зависит только от напряжения между коллектором и эмиттером. Напряжение коллектор – эмиттер насыщения для разных транзисторов от долей вольта до 1 вольта.

в) Режим отсечки. Переходы эмиттер – база и коллектор – база закрыты. Через транзистор протекает малый обратный ток  $I_{кбо}$ .

### 3.3.2 Схема транзисторного ключа

Схема транзисторного ключа представлена на рисунке 3.8

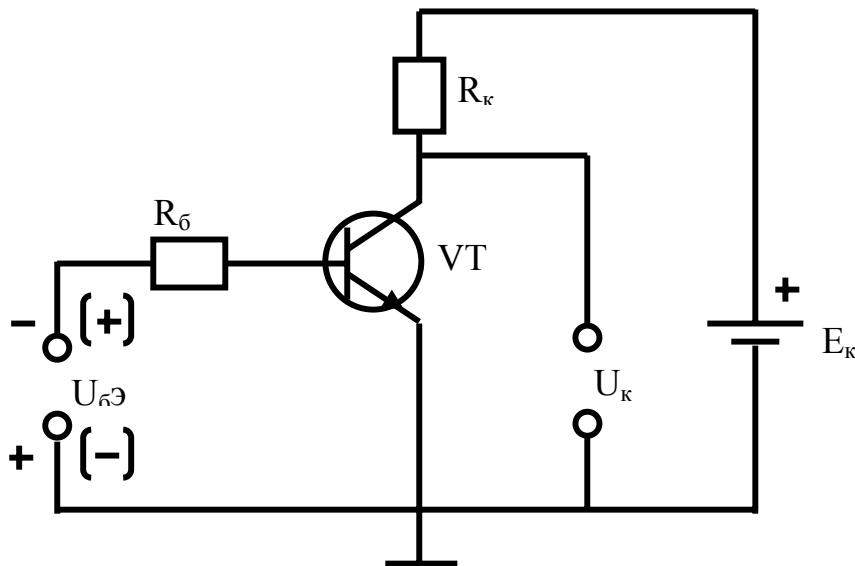


Рисунок 3.8 – Схема транзисторного ключа

а) Режим отсечки. Напряжение между базой и эмиттером меньше 0, оба перехода закрыты. В идеальном случае транзистор представляет из себя разрыв цепи и ток через  $R_k$  не протекает. В действительности через транзистор, а значит и через  $R_k$  протекает малый обратный ток  $I_{кбо}$ .

б) Режим насыщения (ключ замкнут). Напряжение между базой и эмиттером больше 0, причем имеет такое значение, чтобы ток базы  $I_b$  был бы равен току базы  $I_b$  насыщения. Три электрода транзистора стянуты в точку, т.к. он открыт до насыщения. Через  $R_k$  протекает ток источника  $E_k$ .

Эквивалентная схема транзистора в режиме насыщения представлена на рисунке 3.9.

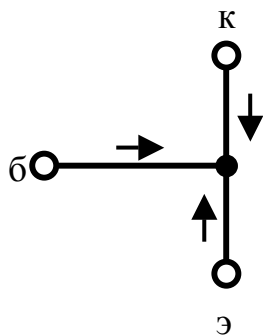


Рисунок 3.9 – Эквивалентная схема транзистора в режиме насыщения

В действительности напряжение между коллектором и эмиттером стянутого в точку транзистора не равно нулю, поэтому напряжение на  $R_k$  не равно  $E_k$ . Напряжение между коллектором и эмиттером транзистора равно  $U_{кэ}$  насыщения, поэтому  $U_{Rk} = E_k - U_{кэ}$  насыщения.

## 4 Импульсные схемы

### 4.1 Транзисторный переключатель тока

Схема транзисторного переключателя тока представлена на рисунке 4.1.

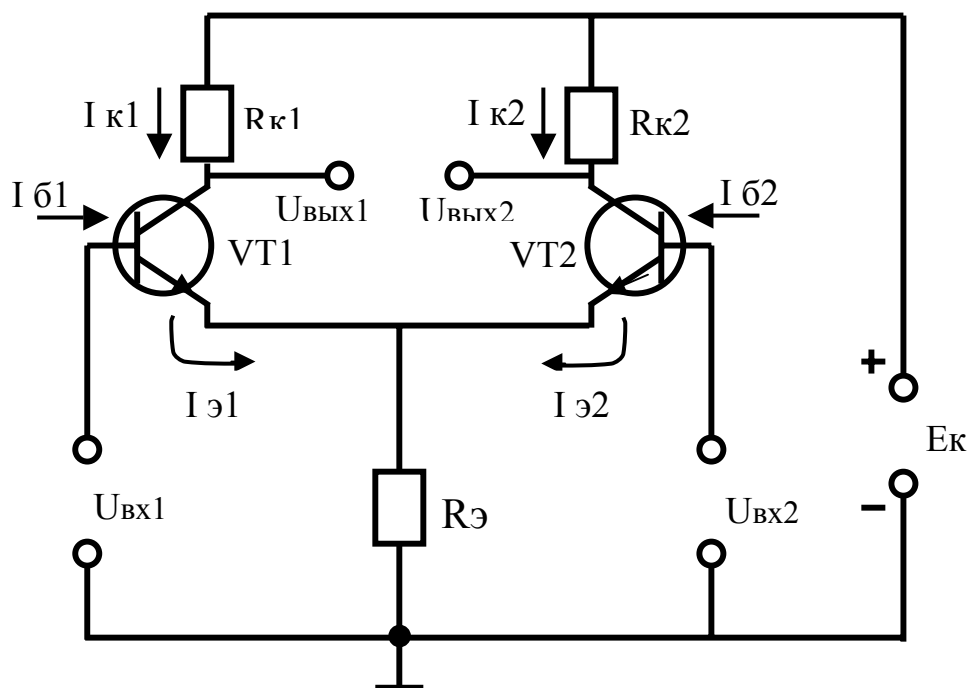


Рисунок 4.1 – Схема транзисторного переключателя тока

Схема служит для переключения тока в цепь одного из транзисторов под действием двух входных сигналов  $U_{вх1}$  и  $U_{вх2}$ . Пусть входные сигналы равны, тогда равны токи баз транзисторов  $I_{б1}$  и  $I_{б2}$ . Транзисторы одинаково открыты, и через них протекают равные коллекторные токи. Весь ток источника  $E_k$  делится пополам. Цепи токов:  $+E_k$ ,  $R_{к1}$  или  $R_{к2}$ ,  $VT1$  или  $VT2$ ,  $R_э$ ,  $-E_k$ . Пусть  $U_{вх1} > U_{вх2}$ , тогда  $I_{б1} > I_{б2}$ .  $VT1$  открыт лучше, чем  $VT2$ . При некотором значении  $I_{б1}$ , равным  $I_b$  насыщения,  $VT1$  открывается до насыщения, и весь ток источника  $E_k$  направляется через него. Ток через  $VT2$  отсутствует, он закрыт. Пусть  $U_{вх1} < U_{вх2}$ , при этом  $I_{б2} > I_{б1}$ . При некотором значении  $I_{б2} = I_b$  насыщения,  $VT2$  открывается до насыщения, и весь ток источника  $E_k$  протекает через него.  $VT1$  закрыт.

При этом на первом выходе резко возрастает напряжение до значения  $E_k$ , а на втором выходе резко уменьшается до значения  $E_k - I_0 R_k$ .

Быстродействие схемы определяется быстродействием транзисторов. Разность  $U_{вх1} - U_{вх2}$ , на которую реагирует схема, составляет доли вольта.

## 4.2 Мультивибраторы

Мультивибратор – генератор прямоугольных импульсов.

Изменяя параметры схемы мультивибратора, можно изменять параметры импульсов на выходе. Мультивибраторы могут работать в следующих режимах:

- 1) Автоколебательный режим;
- 2) Ждущий режим;
- 3) Режим синхронизации.

### 4.2.1 Мультивибратор в автоколебательном режиме

Схема мультивибратор в автоколебательном режиме представлена на рисунке 4.2.

Графики, иллюстрирующие работу мультивибратора в автоколебательном режиме, представлены на рисунке 4.3 на странице 24.

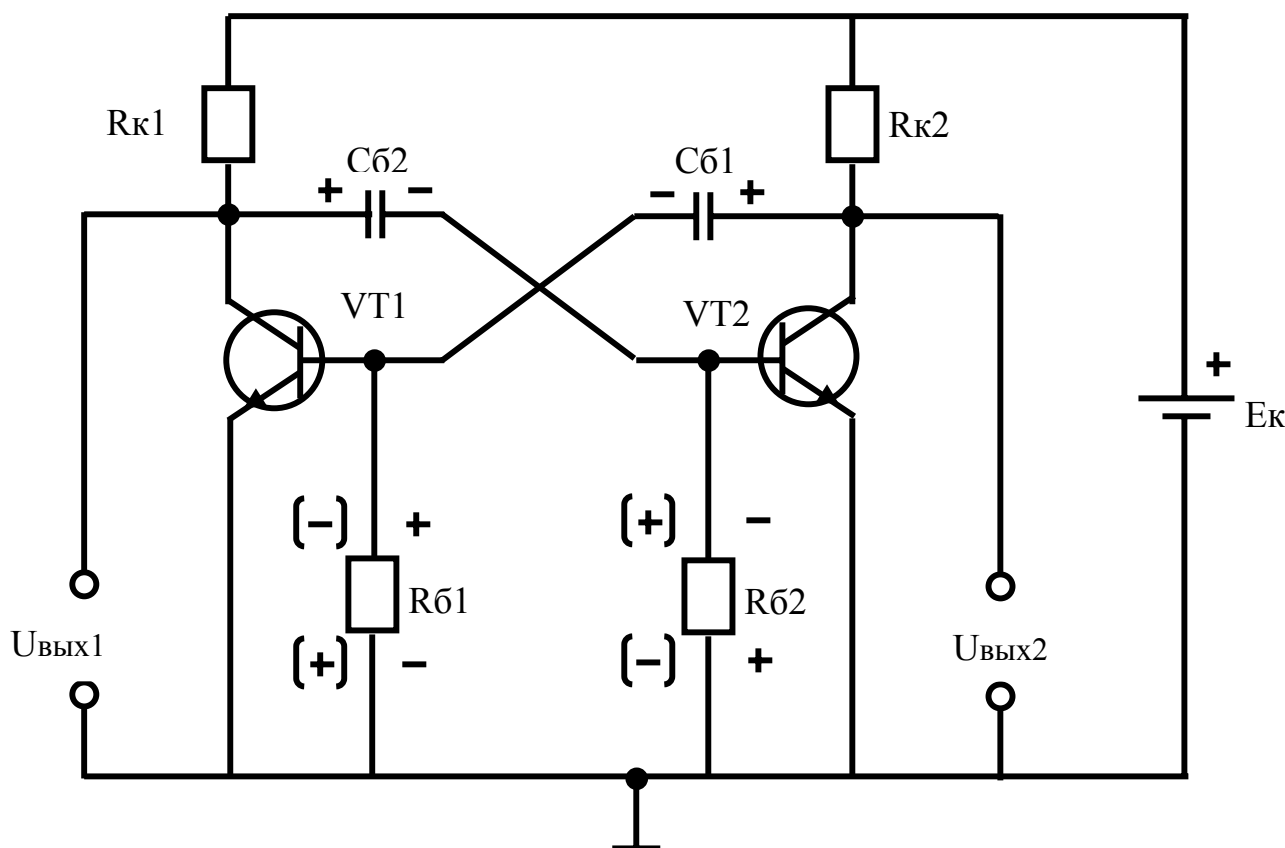


Рисунок 4.2 – Схема мультивибратора в автоколебательном режиме

а) Элементы схемы:

- $E_k$  – источник коллекторного питания;
- $VT1$  и  $VT2$  – переключающие транзисторы;
- $R_{б1}$  и  $R_{б2}$  – базовые резисторы;
- $R_{к1}$  и  $R_{к2}$  – коллекторные резисторы;
- $C_{б1}$  и  $C_{б2}$  – конденсаторы в коллекторно-базовых цепях обратной связи.

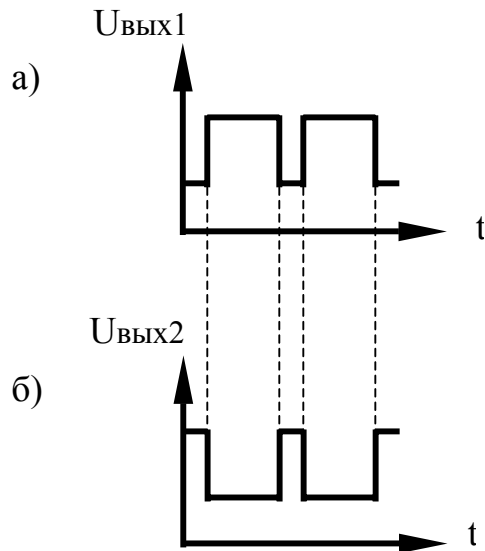


Рисунок 4.3 – Графики, иллюстрирующие работу мультивибратора в автоколебательном режиме: напряжение на выходе (1) – (а); напряжение на выходе (2) – (б).

б) Принцип работы. После включения  $E_k$  токи пойдут через  $VT1$  и  $VT2$ . Пусть ток  $VT1$  стал больше тока  $VT2$  из-за не идеальности элементов. При этом  $C_{б1}$  начинает разряжаться по цепи:  $+C_{б2}$ , коллектор, база, эмиттер  $VT1$ ,  $R_{б2}$ ,  $-C_{б2}$ . Отрицательный потенциал с  $R_{б2}$  прикладывается к базе  $VT2$  и закрывает его. На первом выходе низкий уровень напряжения, на втором – высокий.  $C_{б1}$  заряжается по цепи:  $+E_k$ ,  $R_{к2}$ ,  $C_{б1}$ ,  $R_{б1}$ ,  $-E_k$ . Положительный потенциал с  $R_{б1}$  прикладывается к базе  $VT1$  и еще больше открывает его. Процесс происходит лавинообразно. На первом выходе напряжение, близкое к нулю, а на втором – положительный импульс напряжения. По окончании разряда  $C_{б2}$   $VT2$  открывается, и  $C_{б1}$  начинает разряжаться по цепи:  $+C_{б1}$ , коллектор, база, эмиттер  $VT2$ ,  $R_{б1}$ ,  $-C_{б1}$ . Отрицательный потенциал с  $R_{б1}$  прикладывается к базе  $VT2$  и еще больше открывает его. Процесс происходит лавинообразно. В результате  $VT2$  открыт,  $VT1$  закрыт. На первом выходе положительный импульс напряжения, на втором выходе напряжение, близкое к нулю. Если  $C_{б1}=C_{б2}$ ,  $R_{б1}=R_{б2}$ , то мультивибратор симметричный, и на выходе меандр со скважностью, равной двум.

При неравенстве параметров схемы мультивибратор - несимметричный, и длительность импульса и паузы определяются постоянными времени по формулам (21) и (22).

$$\tau_1 = R_{\beta 1} * C_{\beta 1}, \quad (21)$$

$$\tau_2 = R_{\beta 2} * C_{\beta 2}, \quad (22)$$

от которых зависит время разрядки и зарядки конденсаторов.

#### 4.2.2 Ждущий мультивибратор

Схема ждущего мультивибратора показана на рисунке 4.4, а графики, иллюстрирующие работу – на рисунке 4.5 на странице 26.

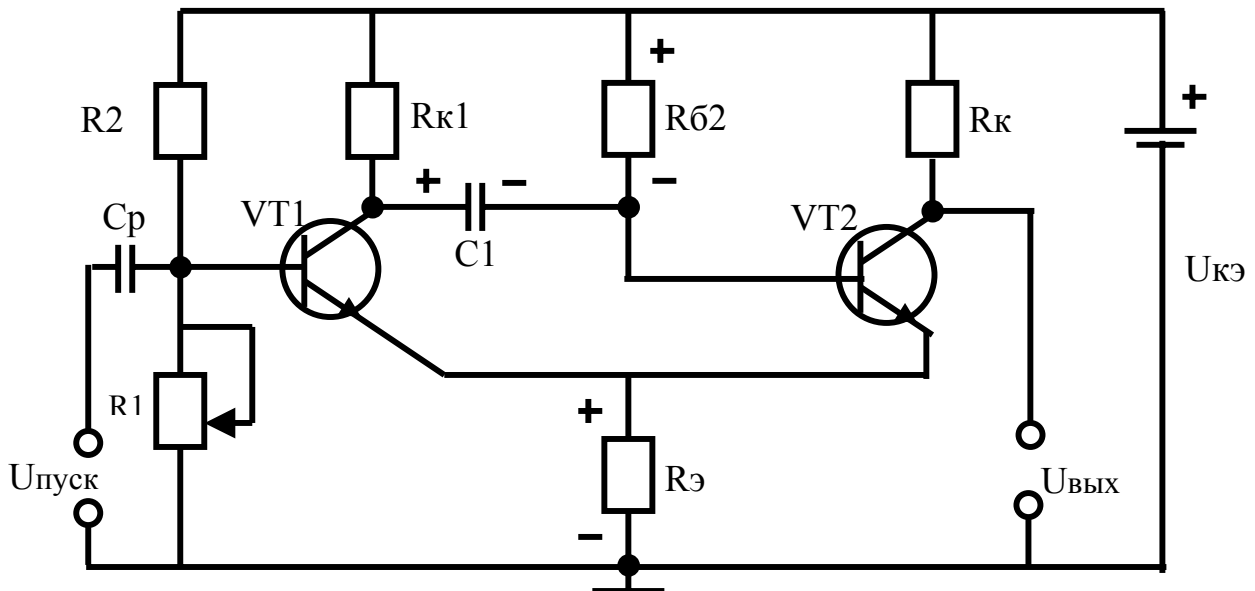


Рисунок 4.4 – Схема ждущего мультивибратора



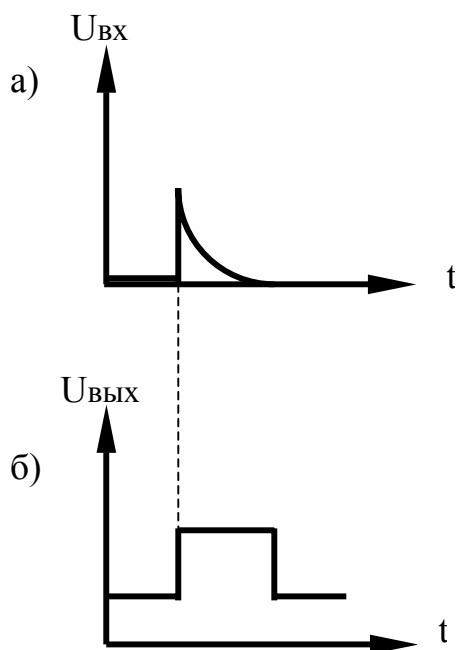


Рисунок 4.5 – Графики, иллюстрирующие работу ждущего мультивибратора: входное напряжение запуска (а); выходное напряжение (б).

Схема вырабатывает прямоугольный импульс напряжения только при поступлении на нее запускающего импульса. Пусть импульс отсутствует, тогда VT1 закрыт, VT2 открыт. Цепь тока:  $+U_{кэ}$ ,  $R_{к2}$ , кбэ VT2,  $R_э$ ,  $-U_{кэ}$ . Отрицательный потенциал с  $R_э$  через  $R_1$  прикладывается к базе VT1 и надежно закрывает его. На выходе напряжения, близкое к нулю.

Пусть пришел импульс запуска. Тогда VT1 открывается. C1 разряжается по цепи:  $+C_1$ , коллектор, база, эмиттер VT1,  $R_э$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_{б2}$ ,  $-C_1$ . Отрицательный потенциал с  $R_{б2}$  прикладывается к базе VT2 и закрывает его. На выходе формируется фронт, а затем и вершина импульса. Длительность импульса определяется постоянной времени  $\tau = C_1 * R_{б2}$ . Когда конденсатор разрядится, VT2 откроется, на выходе сформируется спад импульса, VT1 закрывается. C1 заряжается по цепи:  $+U_{кэ}$ ,  $R_{к1}$ , C1, база, эмиттер VT2,  $R_э$ ,  $-U_{кэ}$ . Далее схема находится в состоянии покоя и ждет прихода следующего импульса запуска.

#### 4.2.3 Мультивибратор в режиме синхронизации

Частота сигнала мультивибратора нестабильна – отклонение составляет 10-15 процентов. Для стабилизации частоты мультивибраторы синхронизируют, т.е. подают на его вход стабильные по частоте импульсы с кварцевого генератора и принудительно вынуждают мультивибратор формировать импульсы строго определенной частоты.

Схема мультивибратора в режиме синхронизации показана на рисунке 4.6.

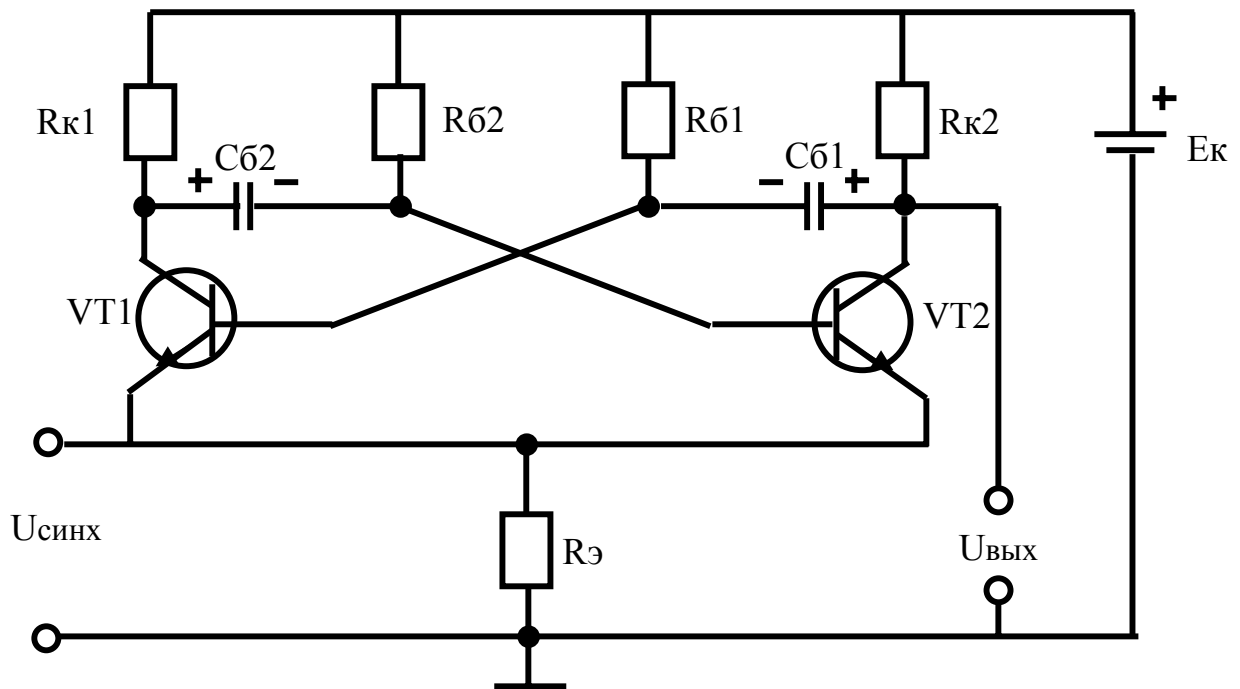


Рисунок 4.6 – Схема мультивибратора в режиме синхронизации

Пусть в начальный момент времени VT1 закрыт, VT2 открыт, и пришел первый импульс с кварцевого генератора. На эмиттерах VT1 и VT2 отрицательное напряжение, поэтому на базах транзисторов положительное напряжение относительно эмиттеров. VT1 открывается, Cб2 разряжается по цепи: +Cб2, коллектор, база, эмиттер VT1, Rэ, Eк, Rб2, -Cб2. Отрицательный потенциал с Rб2 прикладывается к базе VT2 и закрывает его. Cб1 заряжается по цепи: +Eк, Rк2, Cб1, база, эмиттер VT1, Rэ, -Eк. Еще до окончания разрядки Cб2 приходит второй синхронизирующий импульс, который открывает VT2.

Cб1 разряжается по цепи: +Cб1, коллектор, база, эмиттер VT2, Rэ, Eк, Rб1, -Cб1. Отрицательный потенциал с Rб1 прикладывается на базу VT1 и закрывает его. Cб2 заряжается по цепи: +Eк, Rк1, Cб2, база, эмиттер VT2, Rэ, -Eк. Еще до момента разрядки Cб1 приходит третий синхроимпульс и процесс повторяется.

#### 4.2.4 Мультивибратор на операционном усилителе

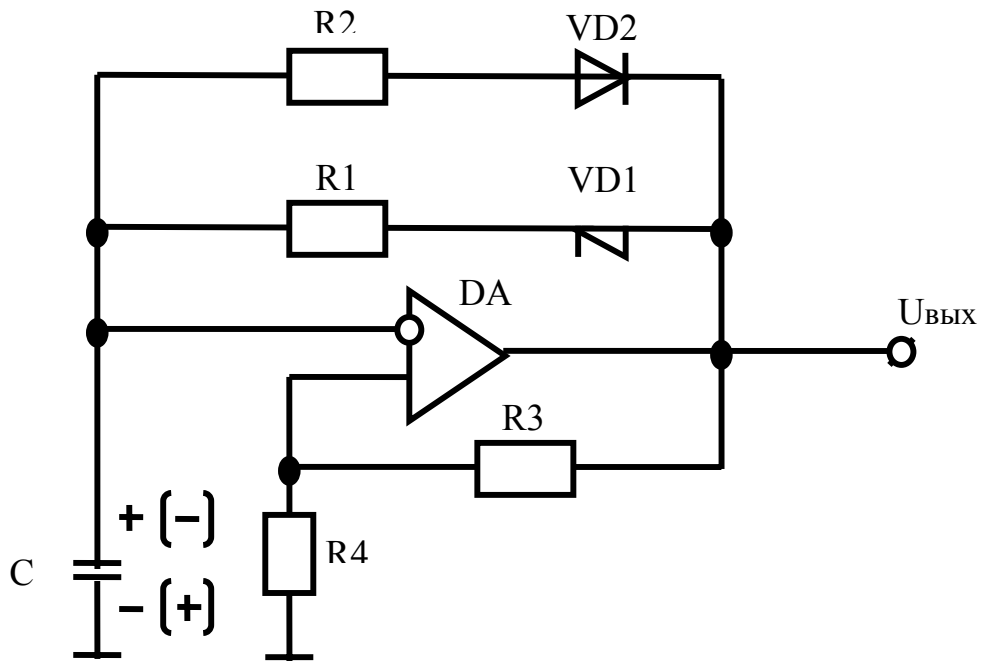


Рисунок 4.7 – Схема мультивибратора на операционном усилителе

Схема мультивибратора на операционном усилителе, показанная на рисунке 4.7, позволяет получить на выходе прямоугольные импульсы с крутыми фронтами за счет высокого коэффициента усиления операционного усилителя (ОУ).

а) Элементы схемы:

- 1) Операционный усилитель DA;
- 2) Цепь положительной обратной связи – R3, R4;
- 3) Цепь отрицательной обратной связи – R1, R2, VD1, VD2;
- 4) C – накопительный конденсатор.

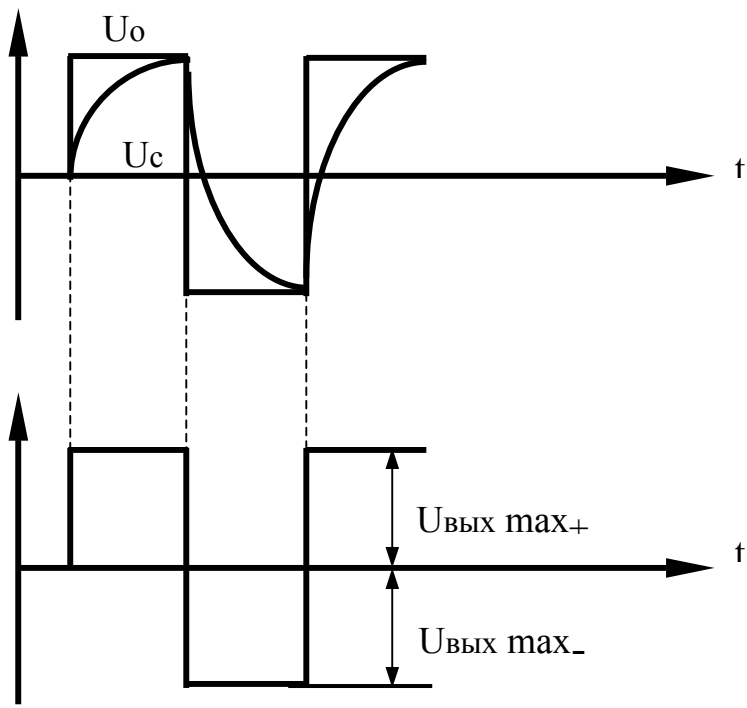


Рисунок 4.8 – Графики, иллюстрирующие работу мультивибратора на операционном усилителе: напряжение обратной связи  $U_{oc}$  и напряжение на конденсаторе  $U_c$  (а); выходное напряжение (б).

б) Принцип работы. После включения питания операционный усилитель начинает усиливать разность напряжений прямого и инверсного входов. Пусть в начальный момент на прямом входе напряжение стало чуть больше, чем на инверсном. Тогда их разность будет положительной. Она усиливается операционным усилителем. На выходе возникает положительное напряжение, которое по цепи положительной обратной связи прикладывается к прямому входу. В результате очень быстро на выходе возникает максимальное положительное напряжение операционного усилителя, близкое к напряжению источника питания. На прямой вход приложено напряжение обратной связи.

$$U_o = (U_{вых.max+} * R_4) / (R_3 + R_4), \tag{23}$$

Конденсатор  $C$  заряжается по цепи:  $U_{вых.max+}$ ,  $VD1$ ,  $R1$ ,  $C$ , корпус. По мере зарядки положительное напряжение на инверсном входе возрастает, и как только оно станет больше, чем  $U_o$ , их разность становится отрицательной, напряжение обратной связи становится отрицательным, и на выходе возникает максимальное обратное напряжение, близкое к напряжению питания. На прямой вход приложено напряжение положительной обратной связи.

$$U_o = (U_{вых.max-} * R_4) / (R_3 + R_4), \tag{24}$$

Конденсатор заряжается по цепи: верхняя обкладка, R2, VD2,  $U_{\text{вых max}}$ , нижняя обкладка. Как только отрицательное напряжение на конденсаторе, а значит и на инверсном входе операционного усилителя, станет больше отрицательного напряжения на прямом входе, их разность становится положительной, и на выходе схемы опять возникает максимальное положительное напряжение.

Длительность импульса  $t_{\text{и}}$  тем больше, чем больше постоянная времени  $\tau = R1 \cdot C$ . Длительность паузы тем больше, чем больше постоянная времени  $\tau = R2 \cdot C$ .

### 4.3 Триггеры

Триггер – это элемент памяти – бистабильная схема, имеющая два устойчивых состояния. С помощью триггера возможно запомнить 1 бит информации. По исполнению триггеры классифицируются на:

- ❖ Дискретные, построенные на транзисторах
- ❖ Интегральные, построенные на интегральных микросхемах.

Микросхемы памяти в вычислительной технике – это БИС, в которых каждый из микротриггеров представляет собой ячейку памяти ОЗУ.

#### 4.3.1 Простейшая схема симметричного триггера на транзисторах

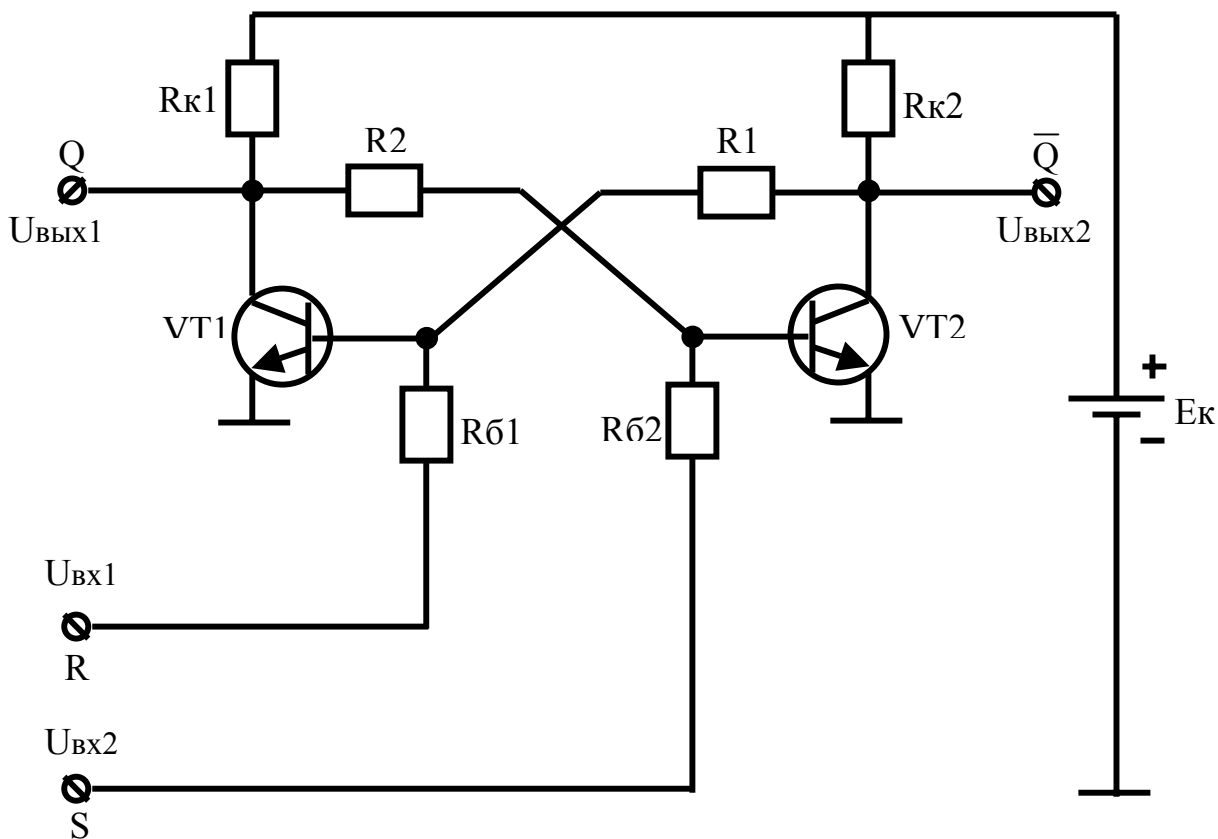


Рисунок 4.9 – Простейшая схема симметричного триггера на транзисторах

Триггер симметричный, поэтому  $R_{б1}=R_{б2}$ ,  $R_1=R_2$ ,  $R_{к1}=R_{к2}$ . Для записи информации в триггер используются 2 входа S и R, по которым импульсы запуска поступают на базу транзисторов. Триггер работает в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – Таблица истинности

$\bar{S}$	$\bar{R}$	Q	Q
0	0	хранение	
1	0	1	0
0	1	0	1
1	1	запрет	

#### 4.3.2 Принцип работы

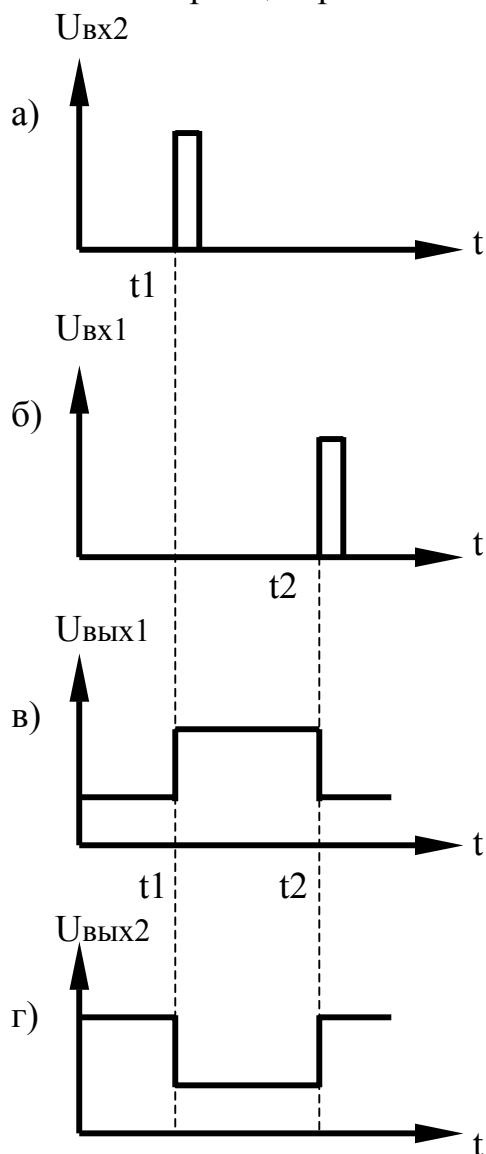


Рисунок 4.10 – Графики, иллюстрирующие принцип работы триггера: входные напряжения  $U_{вх1}$  и  $U_{вх2}$  – (а); выходные напряжения  $U_{вых1}$  и  $U_{вых2}$  – (б);

Пусть на входах  $S$  и  $R$  отсутствуют импульсы запуска ( $S=R=0$ ). После включения питания  $E_k$  из-за неидеальной симметрии схемы один из транзисторов откроется до насыщения (стянется в одну точку), а второй закроется (режим отсечки). Пусть открыт  $VT_1$ , а закрыт  $VT_2$ , тогда на прямом выходе низкий уровень напряжения, логический ноль. На втором инверсном выходе высокий уровень напряжения, логическая единица. Открытое состояние  $VT_1$  поддерживается высоким потенциалом на его базе с коллектора  $VT_2$ . Закрытое состояние  $VT_2$  поддерживается низким потенциалом на его базе с коллектора  $VT_1$ . Это первое устойчивое состояние триггера, в котором он хранит информацию на выходах до прихода импульса запуска. Пусть на второй вход приходит импульс запуска (график а). Тогда  $VT_2$  открывается. Напряжение на его коллекторе уменьшается, значит, оно уменьшается на базе  $VT_1$  и он закрывается. Напряжение на его коллекторе увеличивается, значит, оно увеличивается на базе  $VT_2$ . Процесс происходит лавинообразно. В результате  $VT_1$  закрыт (отсечка),  $VT_2$  открыт (стянут в точку). На прямом выходе сигнал логической единицы (график в), на инверсном выходе сигнал логического нуля (график г). Это второе устойчивое состояние триггера, в котором он находится до прихода следующего импульса записи информации на первый вход (график б). При этом  $VT_1$  открывается,  $VT_2$  закрывается, на прямом выходе сигнал логического нуля, на инверсном выходе сигнал логической единицы. Далее процесс повторяется.

#### 4.3.3 RS-триггер на логических элементах «И – НЕ»

Схема RS-триггера на логических элементах «И – НЕ» показана на рисунке 4.11

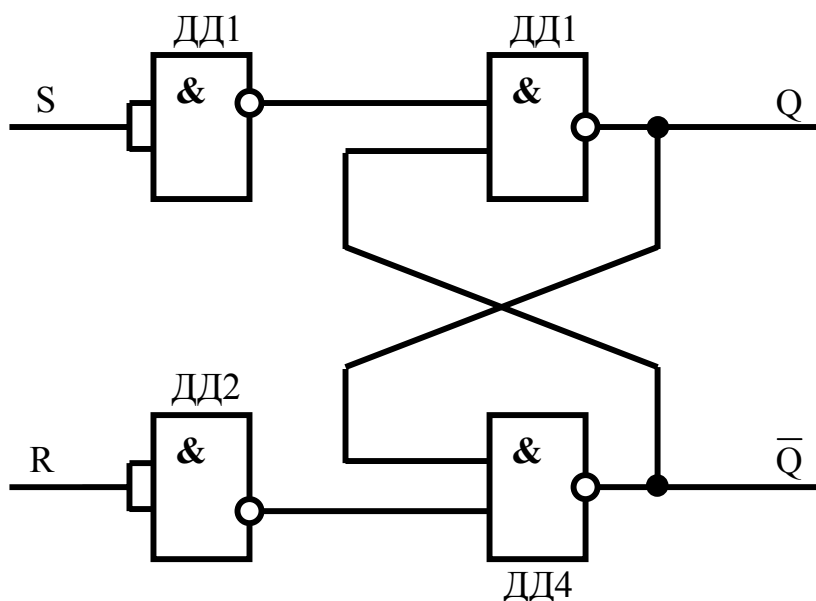


Рисунок 4.11 – Схема RS-триггера на логических элементах «И – НЕ»

Пусть  $R=S=0$ . Предварительно записано  $Q=0$ ,  $\bar{Q}=1$ . Тогда на входе ДДЗ – 1, на входе ДД4 – 1, на  $Q$  – 0, на  $\bar{Q}$  – 1. Следовательно – это режим хранения информации.

Пусть  $S=1$ ,  $R=0$ , тогда на входе ДДЗ – 0, и в любом случае на  $Q$  – 1. На обоих входах ДД4 – 1 и на  $Q$  – 0. Это режим записи сигнала логической единицы.

Пусть  $S=0$ ,  $R=1$ . Тогда на входе ДД4 – 0, и в любом случае на  $Q$  – 1. На обоих входах ДДЗ – 1 и  $Q$  – 0. Это режим записи сигнала логического нуля.

Пусть  $S=1$ ,  $R=1$ . Тогда на  $Q$  и на  $\bar{Q}$  – 1. После ухода импульса записи  $S=R=0$ . Получается, что на входах ДДЗ и ДД4 – 1. Если раньше сработает ДДЗ, то на  $Q$  – 0, на  $\bar{Q}$  – 1. Если раньше сработает ДД4, то наоборот. Поэтому состояние, в которое установится триггер, неопределенное. Это состояние запрещено.

#### 4.4.4 Триггер Шмитта

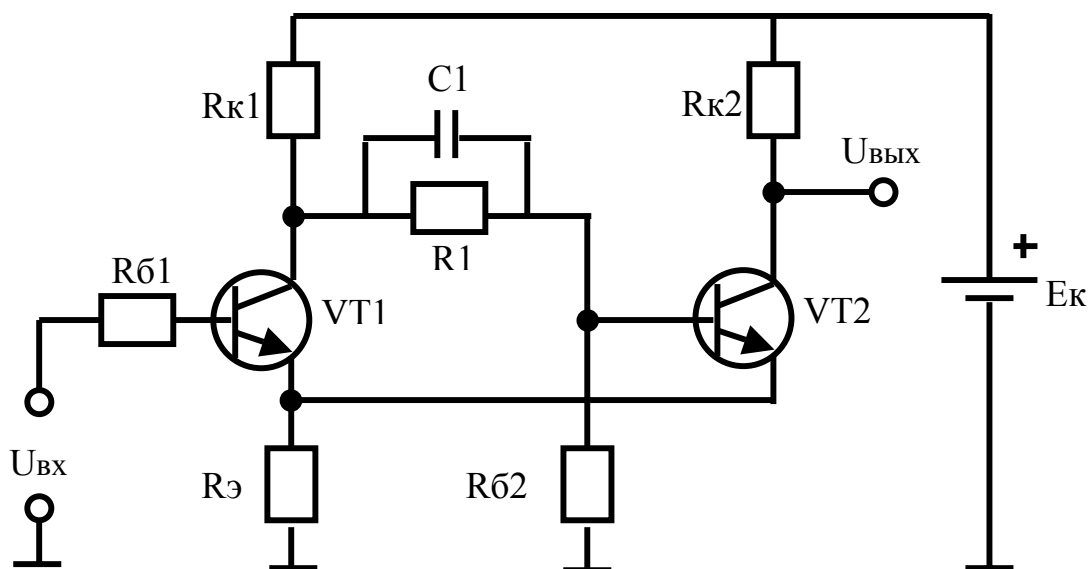


Рисунок 4.12 – Схема триггера Шмитта

Схема триггера Шмитта, показанная на рисунке 4.12, предназначена для преобразования входного напряжения с медленно изменяющимися фронтами и срезом в выходное напряжение с крутыми фронтами.

а) Элементы схемы:

- 1)  $E_k$  – источник коллекторного питания.
- 2) Транзисторы  $VT1$  и  $VT2$  – переключающие элементы.
- 3)  $R_{к1}$ ,  $R_{к2}$  – коллекторные нагрузки.
- 4) Цепь коллекторно-базовой связи  $R1$ ,  $C1$ . Конденсатор  $C1$  служит для быстрой передачи перепада напряжения с коллектора  $VT1$  на базу  $VT2$ .



5) Резисторы:  $R_{б2}$  – для создания режима работы  $VT_2$ ;  $R_э$  – для ограничения эмиттерных токов транзисторов;  $R_{б1}$  – для ограничения тока базы  $VT_1$ .

б) Принцип работы:

Пусть  $U_{вх}=0$ , тогда  $VT_1$  закрыт,  $VT_2$  открыт, т.к. высокое коллекторное напряжение  $VT_1$  через  $R_1$  и  $C_1$  приложено к базе  $VT_2$ . Поскольку он открыт до насыщения, то напряжение на выходе схемы равно напряжению на  $R_э$  (низкий уровень).

Пусть  $U_{вх}$  растёт, в точке срабатывания  $VT_1$  открывается, на его коллекторе низкое напряжение, которое передается на базу  $VT_2$ , и  $VT_2$  закрывается. На выходе крутой фронт напряжения.

При дальнейшем увеличении входного напряжения состояние схемы не изменится.

При уменьшении входного напряжения в точке отпущения  $VT_1$  закрывается, его высокое напряжение через  $R_1$ ,  $C_1$  передается на базу  $VT_2$ , который открывается до насыщения и напряжение на выходе резко уменьшается до напряжения на  $R_э$  (крутой срез).

Далее процесс повторяется.

В триггере Шмитта  $U_{срб.}$  больше  $U_{отп.}$

#### 4.4.5 К155ТВ1 – jк-триггер с логикой « 3И » на входе.

Схема К155ТВ1 – jк-триггера с логикой « 3И » на входе показана на рисунке 4.13

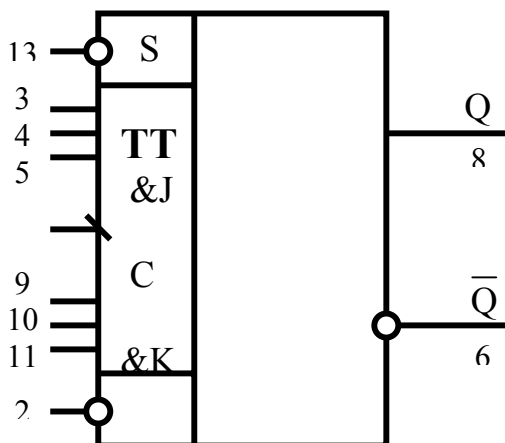


Рисунок 4.13 - Схема К155ТВ1 – jк-триггера с логикой « 3И » на входе

Входы  $R$  и  $S$  не тактируемые инверсные, служат для установки триггера в предварительное состояние. По ним триггер работает в соответствии с таблицей истинности RS-триггера с точностью до наоборот. Входы  $j$  и  $k$  тактируемые.

Они включаются только в момент перепада импульса по тактовому входу С от 1 к 0. По входам j и k триггер работает в соответствии с таблицей истинности. Таблица истинности представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Таблица истинности

С	$I=I_1*I_2*I_3$	$K=K_1*K_2*K_3$	Q	$\bar{Q}$
0 или 1 или 0  1	любые	любые	хранение	
1  0	1	0	1	0
1  0	0	1	0	1
1  0	0	0	хранение	
1  0	1	1	Q	Q

Общий сигнал по j и k входам получается логическим умножением соответственно сигналам по выводам 3,4,5 и 9,10,11. Триггер работает в соответствии с таблицей истинности.

#### 4.4.6 Т – триггер

Схема Т – триггера и графики, иллюстрирующие работу Т – триггера показаны на рисунках 4.14 и 4.15.

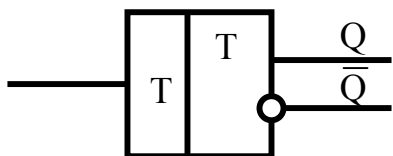


Рисунок 4.14 - Схема Т – триггера

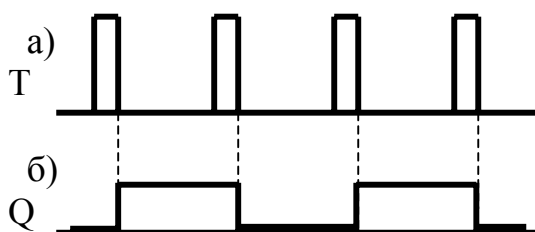


Рисунок 4.15 – Графики, иллюстрирующие работу Т – триггера: входные импульсы – (а); выходные импульсы – (б).

Имеется один тактовый счетный вход (Т), на который поступают импульсы. По срезу этих импульсов триггер опрокидывается во 2 устойчивое состояние. Т – триггер применяется для подсчета импульсов и деления их частоты.

#### 4.4.7 Д – триггер

Схема Д – триггера и таблица истинности, по которой работает триггер, показаны на рисунке 4.16 и в таблице 4

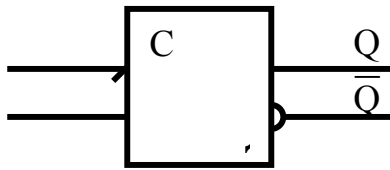


Рисунок 4.16 – Схема Д – триггера

Таблица 4 – Таблица истинности

С	Д	Q	$\bar{Q}$
0 → 1	0	0	1
→ 1	1	1	0
0 или 1	любые	хранение	

Это элемент памяти. Он запоминает информацию, поступающую по входу Д в момент перехода тактового импульса по входу С от 0 к 1.

## 5 Измерения с помощью осциллографа

Электронный осциллограф – это прибор для визуального наблюдения формы электрического сигнала в контрольных точках схемы, а также для оценочных измерений параметров этого сигнала.

После включения осциллографа в сеть регулировками: яркость, фокус, перемещение луча вверх–вниз, влево–вправо, стабильность, уровень – получить на экране изображение светящейся точки или линии. Развертка – линейное перемещение луча по экрану в горизонтальном направлении. Чем выше частота исследуемого сигнала, тем больше должна быть скорость развертки.

Подаем на вход осциллографа исследуемый сигнал (если он десятки вольт, то через делитель). Для удобства измерений необходимо разместить картинку в пределах экрана. Для этого изображение можно сжимать и разжимать по вертикали переключением коэффициента отклонения ( $K_0$ ), по горизонтали переключением коэффициента развертки ( $K_p$ ).

$K_0$  – это число, которое показывает сколько В или мВ приходится на одно деление экрана по вертикали.

$K_p$  – это число, которое показывает, за какое время луч проходит 1 деление экрана по горизонтали.

Для измерения параметров сигнала подсчитываем число полных и дробных клеток в указанном параметре и умножаем для временных параметров на установленный  $K_p$ , для амплитуды на  $K_o$ .

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Барканов Н.А., Ниссельсон Л.И., Якубовский С.В. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1985. – 735 с.
2. Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.Е. Промышленная электроника: Учебник для вузов.- М.: Энергоатомиздат, 1988. – 340 с.
3. Грицевский П.М., Мамченко А.Е., Степенский Б.М. Основы автоматики, импульсной и вычислительной техники: Учебник для техникумов. - М.: Радио и связь, 1987. – 632 с.
4. Попов Л.Н., Фролкин В.Т. Импульсные устройства: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Советское радио, 1980. – 547 с.
5. Рутковски Д. Интегральные операционные усилители: Пер. с англ. - М.: Мир, 1978. – 258 с.
6. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. - М.: Советское радио, 1980. – 554 с.