

## ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ И ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА

### 16.1. ГЕНЕРАТОРЫ СИНУСОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Генераторы синусоидальных колебаний преобразуют электрическую энергию источников при постоянном токе в электрическую энергию при синусоидальном токе требуемой частоты. Различают генераторы с самовозбуждением (автогенераторы) и независимым возбуждением. Последние представляют собой усилители мощности, усиливающие сигналы автогенераторов малой мощности.

Автогенераторы можно рассматривать как усилители с положительной обратной связью. Наиболее часто применяется обратная связь по напряжению (рис. 16.1). Для анализа установившегося режима работы автогенератора воспользуемся комплексным методом.

Напряжения на выходе автогенератора и на входе четырехполюсника цепи обратной связи одинаковые  $\dot{U}_{\text{ВЫХ}} = \dot{U}_{\text{ВХ.О.С}}$  и удовлетворяют условию

$$\dot{U}_{\text{ВЫХ}} = \underline{K}_{uy} \underline{K}_{uo.c} \dot{U}_{\text{ВХ.О.С}} \quad (16.1)$$

где  $\underline{K}_{uy} = K_{uy}(\omega)e^{j\theta'(\omega)}$  — комплексный коэффициент усиления напряжения усилителя;  $\underline{K}_{uo.c} = K_{uo.c}(\omega)e^{j\theta''(\omega)}$  — комплексный коэффициент передачи напряжения четырехполюсника обратной связи (4.48).

Из формулы (16.1) следует, что

$$\underline{K}_{uy} \underline{K}_{uo.c} = K_{uy}(\omega) K_{uo.c}(\omega) e^{j[\theta'(\omega) + \theta''(\omega)]} = 1,$$

т. е.

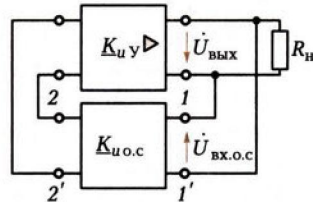


Рис. 16.1

$$\left. \begin{aligned} K_{uy}(\omega)K_{uo.c}(\omega) &= 1; \\ \theta'(\omega) + \theta''(\omega) &= 2\pi n, \end{aligned} \right\} \quad (16.2)$$

где  $n = 0, 1, 3, \dots$

Условия (16.2) должны выполняться при угловой частоте работы автогенератора  $\omega$ .

Самовозбуждение генератора, начиная от момента времени его подключения к источнику энергии, определяется условием  $K_{uy}(\omega)K_{uo.c}(\omega) > 1$ , которое после завершения переходного процесса переходит в условие установившегося режима работы автогенератора (16.2) вследствие уменьшения значения  $K_{uy}$  при увеличении амплитуды синусоидальных колебаний, обусловленного нелинейными свойствами транзисторов (см. рис. 15.16).

Различают  $LC$ - и  $RC$ -автогенераторы. Первые содержат в цепях положительной обратной связи катушки индуктивности и конденсаторы, вторые — резисторы и конденсаторы. Вторые проще для реализации в виде интегральных схем.

## 16.2. НЕЛИНЕЙНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ. КОМПАРАТОР

Работу ОУ в нелинейном режиме объясним на примере цепи (рис. 16.2), в которой напряжение на неинвертирующем входе ОУ определяет источник постоянной ЭДС  $E_0$ , а напряжение на инвертирующем входе линейно изменяется во времени  $U_{вх.и} = kt$  (рис. 16.3, а). Полагая ОУ идеальным, из уравнения по второму закону Кирхгофа для контура 1

$$u_{вх.ОУ} = u_{вх.и} - U_0$$

следует, что в момент времени  $t_0 = U_0/k$  отрицательные значения напряжения  $u_{вх.ОУ}$  заменяются положительными (рис. 16.3, б). Одновременно по передаточной характеристике идеального ОУ (см. рис. 15.17, б — ломаная линия 1) напряжение на его выходе скачком изменится от положительного до отрицательного значения ЭДС  $E$  источника питания (рис. 16.3, в).

Устройства, в которых нелинейный режим работы ОУ используется для сравнения напряжения на инвертирующем вхо-

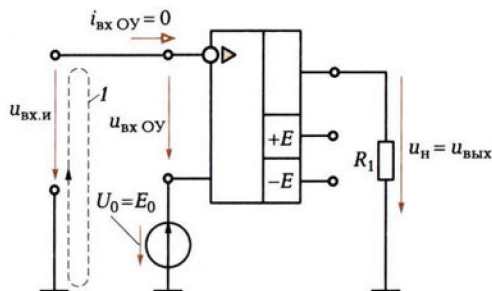


Рис. 16.2

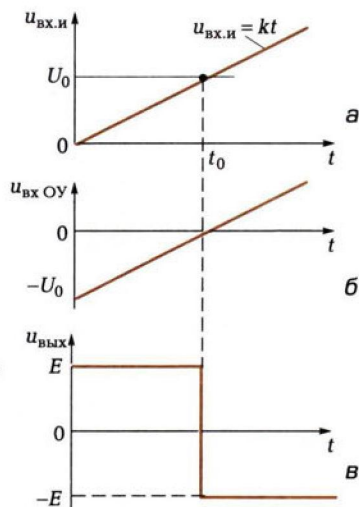


Рис. 16.3

де с заданным напряжением на неинвертирующем входе, называемым *опорным напряжением* (или наоборот), называются *компараторами*.

### 16.3. КЛЮЧЕВОЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА

В информационной электронике применяются транзисторные ключи малой мощности (мощность потерь до 0,1 мкВт) с частотой переключения до 500 МГц, параметры которых отличны от транзисторных ключей энергетической электроники (см. подразд. 13.6).

Работу таких ключей рассмотрим на примере биполярного транзистора, включенного по схеме с ОЭ (рис. 16.4, а).

При постоянном напряжении на входе ключа  $U_{вх} \leq 0$  токи в цепях коллектора и базы практически одинаковые и равны току через обратный включенный *p-n*-переход между базой и коллектором. Это соответствует режиму отсечки транзистора (см. подразд. 13.4), т.е. разомкнутому положению ключа (рис. 16.4, б, точка М).

При постоянном напряжении  $U_{вх} > 0$  и токе базы больше тока насыщения  $I_{Бнас}$  ток коллектора практически равен  $E_K/R_K$  (рис. 16.4, б, точка N). Этот режим соответствует замкнутому положению ключа.

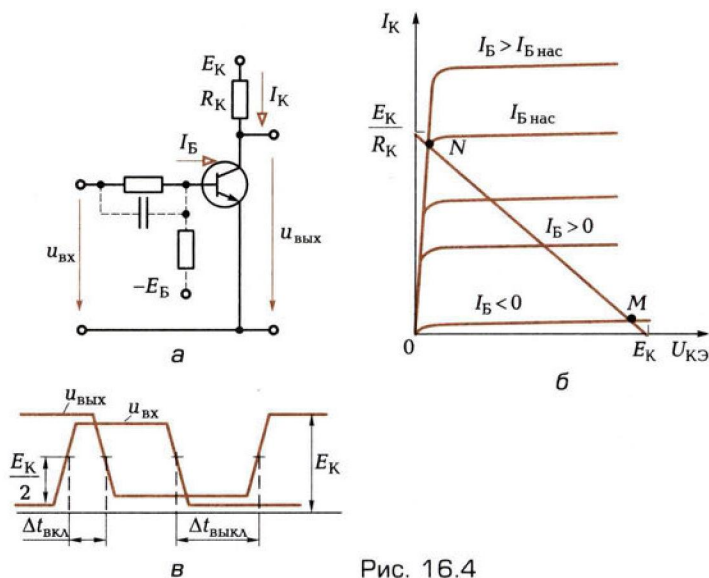


Рис. 16.4

Динамические свойства ключа определяются интервалами времени включения  $\Delta t_{ВКЛ}$  и выключения  $\Delta t_{ВЫКЛ}$  (рис. 16.4, в). Для уменьшения времени  $\Delta t_{ВКЛ}$  резистор в цепи базы шунтируется конденсатором, а для уменьшения времени  $\Delta t_{ВЫКЛ}$  в цепь базы включается ЭДС  $E_B$  (показаны штриховой линией на рис. 16.4, а).

Применение транзистора в качестве ключа вместо других типов ключей, например электромеханических, имеет ряд преимуществ. Транзисторный ключ не содержит подвижных частей, подверженных износу, имеет большое быстродействие и малые размеры. Для управления транзисторным ключом требуется источник энергии малой мощности.

В дальнейшем работу всех импульсных и цифровых электронных устройств будем рассматривать, полагая, что ОУ и транзисторные ключи идеальные.

## 16.4. ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Своевременное подключение и отключение необходимого оборудования в целях поддержания режимов технологических процессов требуют принятия тех или иных решений в зависимости от конкретных условий. Если наличие или отсутствие каждого ус-

ловия отождествить с напряжением электрического сигнала различного уровня, то принятие решения возможно с помощью электронных устройств на основе логических элементов. Такие устройства реализуют логическое преобразование совокупности сигналов об условиях работы в совокупность сигналов управления технологическим процессом.

В зависимости от схемотехнической реализации логических элементов сигналы на их входах и выходах имеют либо отличные от нуля напряжения (положительное — «положительная логика» или отрицательное — «отрицательная логика»), либо близкие к нулю, которые принято условно отождествлять с логической единицей и нулем. При этом работу логического элемента можно описать зависимостью логического значения выходного сигнала  $F$  от совокупности логических значений входных сигналов  $x$ . Такую зависимость принято представлять *таблицей истинности*.

Можно доказать, что для любых логических преобразований достаточно иметь три элементарных логических элемента, выполняющих операции: логическое отрицание (логическое **НЕ**), логическое сложение (логическое **ИЛИ**) и логическое умножение (логическое **И**).

Логические элементы реализуют логические функции:

- элемент **НЕ** (инвертор) —

$$F = \bar{X}_i$$

- элемент **ИЛИ** (дизъюнктор) на два входа —

$$F = x_1 + x_2, \quad \text{или} \quad F = x_1 \vee x_2;$$

- элемент **И** (конъюнктор) на два входа —

$$F = x_1 x_2, \quad \text{или} \quad F = x_1 \wedge x_2.$$

Их условные обозначения, примеры схемной реализации, временные диаграммы работы и таблицы истинности приведены на рис. 16.5—16.7.

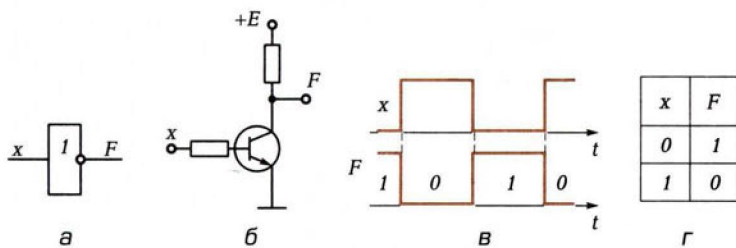


Рис. 16.5

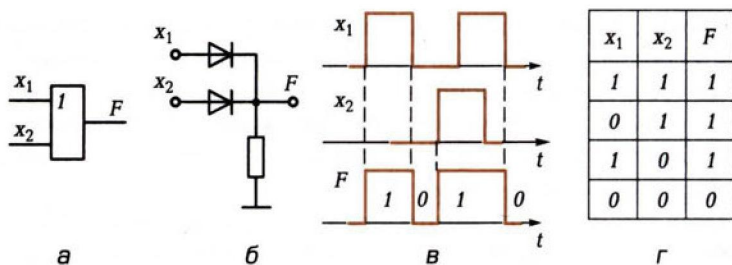


Рис. 16.6

На практике часто используется расширенный набор логических элементов, реализующих логические функции:

- **ИЛИ—НЕ** (стрелка Пирса) (рис. 16.8, а) —

$$F = \overline{X_1 + X_2};$$

- **И—НЕ** (штрих Шеффера) (рис. 16.8, б) —

$$F = \overline{X_1 X_2};$$

- **импликация** (рис. 16.8, в) —

$$F = X_1 + \overline{X_2};$$

- **запрет** (рис. 16.8, г) —

$$F = X_1 \overline{X_2};$$

- **равнозначность** (рис. 16.8, д) —

$$F = X_1 X_2 + \overline{X_1} \overline{X_2}.$$

Логические схемы можно построить таким образом, что логические значения сигналов на одних ее входах будут запрещать

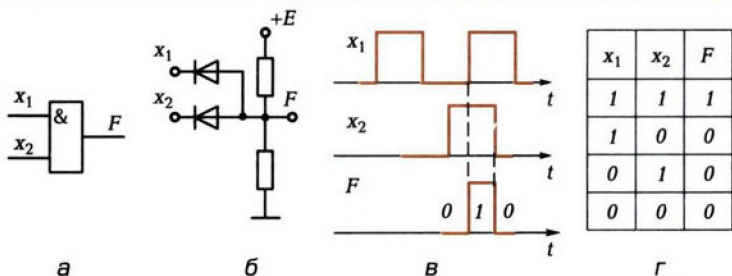


Рис. 16.7

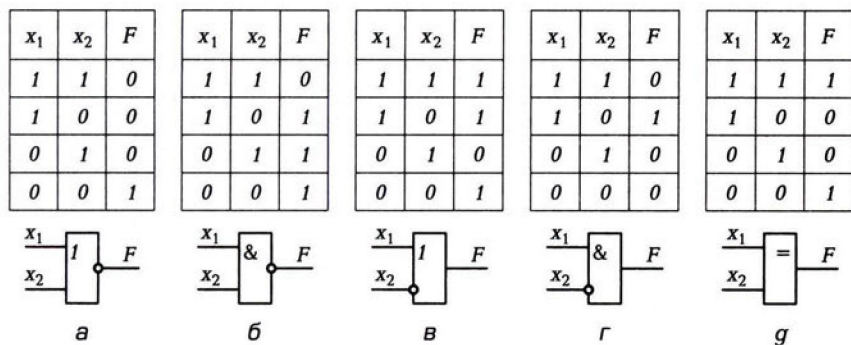


Рис. 16.8

или разрешать прохождение на выход цифровых данных по другим входам. Входы, или сигналы, логических элементов, управляющих другими входами, называются *стробирующими*. Например, для логического элемента И (см. рис. 16.7) вход  $x_2$  может служить стробирующим для входа  $x_1$  и наоборот.

Кроме рассмотренных выше логических элементов с двумя состояниями применяются «логические элементы с тремя состояниями»: отличным или близким к нулю напряжением, или большим значением сопротивления. Последнее соответствует разомкнутой выходной цепи элемента. С помощью таких элементов параллельно соединяются выходы нескольких логических схем на одну двунправленную линию передачи данных для их раздельной работы.

По схемотехнической реализации различают серии элементов ДТЛ (диодно-транзисторная логика), ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика на биполярных транзисторах), МДПТЛ (то же на МДП-транзисторах), КМДПТЛ (то же на взаимодополняющих<sup>1</sup>, или комплементарных, МДП-транзисторах), ТТЛШ (то же с транзисторами Шоттки), ЭСЛ (эмиттерно-связанная логика) и И<sup>2</sup>Л (инжекционная логика).

Примеры схемотехнической реакции некоторых логических элементов серии ДТЛ, ТТЛ, МДПТЛ, КМДПТЛ и ЭСЛ приведены на рис. 16.9, а — г.

Рабочие свойства логических элементов определяет ряд параметров:

- *быстродействие* — время задержки между сменой состояний входного и выходного сигналов (см. рис. 16.4, в);

<sup>1</sup> МДП-транзисторы с  $p$ - и  $n$ -каналами, соединенные последовательно, называются взаимодополняющими, если включение одного из них сопровождается выключением другого. Это уменьшает мощность потерь в логических элементах.

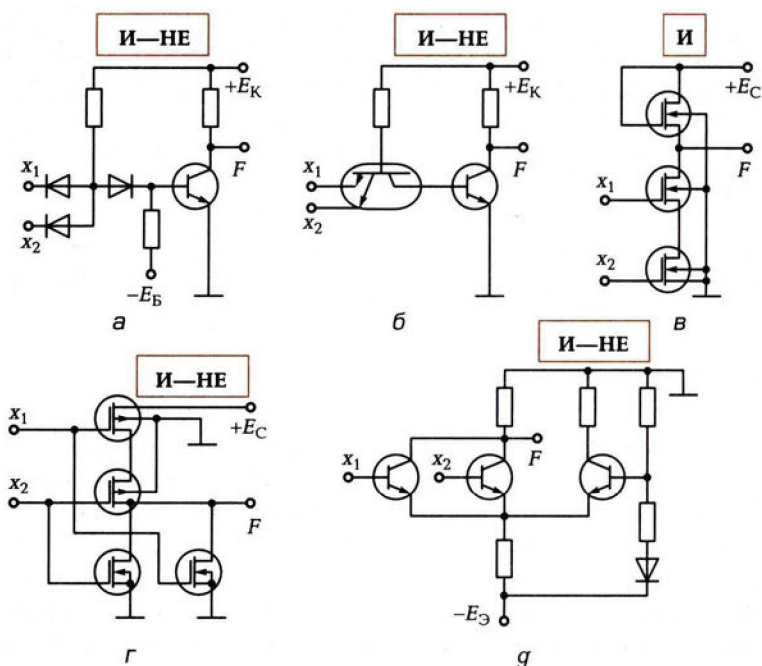


Рис. 16.9

- *нагрузочная способность*, или коэффициент разветвления, — число входов, которые можно подключить к одному выходу;
- *помехоустойчивость* — максимально допустимый уровень напряжения помехи, не вызывающий ложного переключения;
- *степень генерирования помех* — интенсивность колебаний тока при переключении элементов;
- *мощность рассеяния* — мощность потерь энергии в элементах.

## 16.5. ЭЛЕКТРОННЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА С ВРЕМЕННО УСТОЙЧИВЫМИ СОСТОЯНИЯМИ

Электронные импульсные устройства с временно устойчивыми состояниями являются источниками импульсов напряжения, зна-



чение, длительность и частота повторения которых могут регулироваться в широких пределах.

Мультивибратором называется устройство с двумя временно устойчивыми состояниями, представляющее собой генератор импульсов напряжения прямоугольной формы. Обычно он служит для запуска в работу других импульсных устройств при их совместной синхронной работе.

Наиболее распространены мультивибраторы на основе ОУ. Различают симметричные и несимметричные мультивибраторы. Длительности прямоугольных импульсов и интервалы времени между ними у симметричных мультивибраторов равны, у несимметричных различны.

Схема симметричного мультивибратора приведена на рис. 16.10, а, в которой ОУ является компаратором (см. рис. 16.3). Рассмотрим один период работы мультивибратора. По второму закону Кирхгофа для контура 1 цепи составим уравнение

$$u_{\text{вхОУ}} - u_C + u_1 = 0, \quad (16.3)$$

где  $u_1 = R_1 u_{\text{вых}} / (R_1 + R_2)$  и  $u_C$  — напряжения положительной последовательной и отрицательной параллельной обратной связи по напряжению (см. подразд. 15.6).

Пусть в момент времени  $t = 0$  напряжение на входе ОУ  $u_{\text{вхОУ}}(0) > 0$  (рис. 16.11, г). Тогда по передаточной характеристике идеального ОУ (см. рис. 15.16, б, ломаная линия 1) напряжение на его выходе равно

$$u_{\text{вых}}(0) = -E,$$

а напряжения обратной связи

$$u_1(0) = -R_1 E / (R_1 + R_2) = -U_{1\text{max}}$$

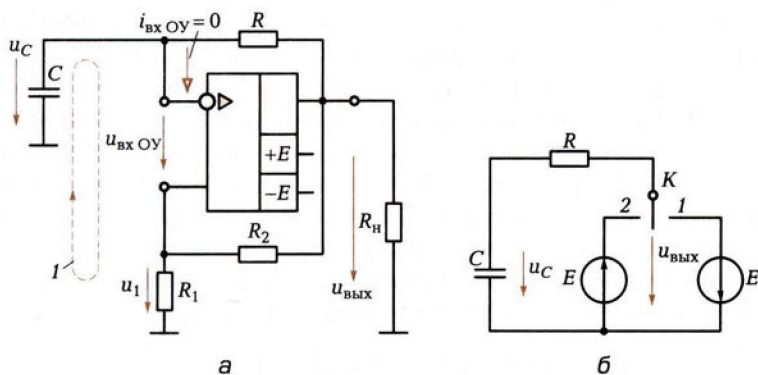


Рис. 16.10

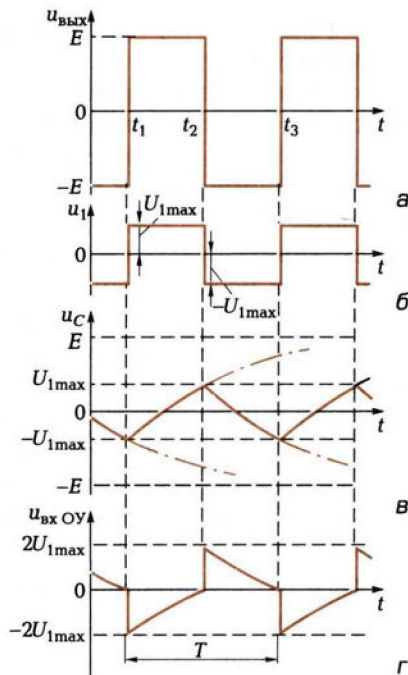


Рис. 16.11

и с учетом (16.3)

$$u_C(0) > u_1(0) = -U_{1\max}$$

где  $E$  — напряжение источника питания (рис. 16.11, а—в).

Такое состояние цепи мультивибратора, которому соответствует схема замещения на рис. 16.10, б (ключ  $K$  в положении 1), неустойчиво. Действительно, напряжения на выходе мультивибратора и на конденсаторе различны:  $u_C(0) > u_{\text{вых}}(0)$ . Поэтому конденсатор будет разряжаться через резистор  $R$  цепи отрицательной обратной связи и цепь, подключенную к выходу ОУ, а напряжение на нем изменяться экспоненциально (см. рис. 1.11), стремясь к значению ЭДС ( $-E = u_{\text{вых}}$ ). В момент времени  $t_1$ , определяемый условием  $u_{\text{вых ОУ}}(t_{1-}) = 0$ , т. е.  $u_C(t_{1-}) = -U_{1\max}$ , напряжение на входе ОУ изменит свое положительное значение на отрицательное. В результате этого произойдет его переключение по передаточной характеристике и скачком изменятся напряжения:

$$u_{\text{вых}}(t_{1+}) = E; u_1(t_{1+}) = R_1 E / (R_1 + R_2) = U_{1\max};$$

$$u_{\text{вых ОУ}}(t_{1+}) = u_C(t_{1+}) - u_1(t_{1+}) = -2U_{1\max};$$

где учтено, что напряжение на конденсаторе по закону коммутации (1.16) скачком не изменяется:  $u_C(t_{1-}) = u_C(t_{1+})$ . Одновременно разрядка конденсатора сменится его зарядкой (1.21) по схеме замещения на рис. 16.10, б (ключ  $K$  в положении 2)

$$u_C(t) = -U_{1\max} + (E + U_{1\max})(1 - e^{-(t-t_1)/(RC)}), \quad (16.4a)$$

которая закончится в момент времени  $t_2$ , определяемый условием  $u_{\text{вых}}(t_{2-}) = 0$ , т. е. по (16.3):

$$u_C(t_{2-}) = U_{1\max}. \quad (16.4б)$$

В этот момент времени вновь скачком изменятся напряжения:

$$\begin{aligned} u_{\text{вых}}(t_{2+}) &= -E; \quad u_1(t_{2+}) = -U_{1\max}; \\ u_{\text{вых}}(t_{2+}) &= u_C(t_{2+}) - u_1(t_{2+}) = 2U_{1\max}, \end{aligned}$$

а зарядка конденсатора сменится его разрядкой по схеме замещения на рис. 16.10, б (ключ  $K$  в положении 1)

$$u_C(t) = U_{1\max} - (E + U_{1\max})(1 - e^{-(t-t_2)/(RC)}),$$

которая закончится в момент времени  $t_3$ , определяемый условием

$$u_{\text{вых}}(t_{3-}) = 0, \text{ т. е. } u_C(t_{3-}) = -U_{1\max}.$$

Далее процессы в цепи мультивибратора будут периодически повторяться.

Длительность положительных импульсов напряжения определяется формулами (16.4):

$$t_2 - t_1 = RC \ln(1 + 2R_1/R_2),$$

а частота работы симметричного мультивибратора с учетом соотношения  $t_3 - t_2 = t_2 - t_1$  равна

$$f = \frac{1}{2(t_2 - t_1)} = \frac{1}{2RC \ln(1 + 2R_1/R_2)}.$$

В несимметричном мультивибраторе интервалы времени зарядки  $t_2 - t_1$  и разрядки  $t_3 - t_2$  конденсатора различны. Это достигается включением в цепь отрицательной обратной связи двух соединенных параллельно резисторов: один для зарядки, а другой для разрядки конденсатора. Последовательно с каждым резистором включается диод, прямой ток которого соответствует току зарядки или току разрядки.

Одновибратором называется устройство с одним устойчивым и одним временно устойчивым состояниями, предназначенное для формирования на своем выходе однократного прямоугольного

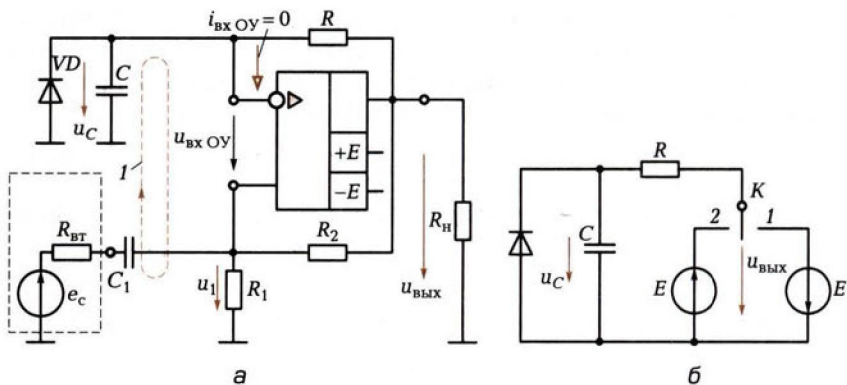


Рис. 16.12

импульса напряжения требуемой длительности при воздействии на входе импульса напряжения от внешнего источника.

Одновибраторы применяются для стандартизации импульсов напряжения по длительности, управления работой электромагнитных реле, задержки импульсов напряжения и деления частоты их повторения.

Схема одновибратора на основе ОУ (рис. 16.12, а) отличается от схемы мультивибратора (см. рис. 16.10, а) тем, что параллельно конденсатору в цепи отрицательной обратной связи включен диод, который далее будем считать идеальным. Работу одновибратора иллюстрирует совмещенная временная диаграмма (рис. 16.13, а—г).

По второму закону Кирхгофа для контура 1 на схеме рис. 16.12, а в любой момент времени справедливо соотношение (16.3).

Устойчивому состоянию одновибратора соответствует схема замещения на рис. 16.12, б (ключ  $K$  в положении 1). Напряжения на его элементах постоянны и равны

$$u_{\text{вых}} = -E; u_1 = -R_1 E / (R_1 + R_2) = -U_{1\text{max}};$$

$$u_{\text{вх ОУ}} = u_C - u_1 = U_{1\text{max}} > 0$$

(см. рис. 16.13, а, б и г), так как диод включен в прямом направлении и напряжение на конденсаторе  $u_C = 0$ .

Если в момент времени  $t_1$  на вход одновибратора подать достаточно большой по амплитуде импульс напряжения положительной полярности от источника сигналов, то под действием ЭДС  $e_c$  (см. рис. 16.13, в) напряжение на входе ОУ может стать отрицательным. В результате произойдет переключение ОУ аналогично

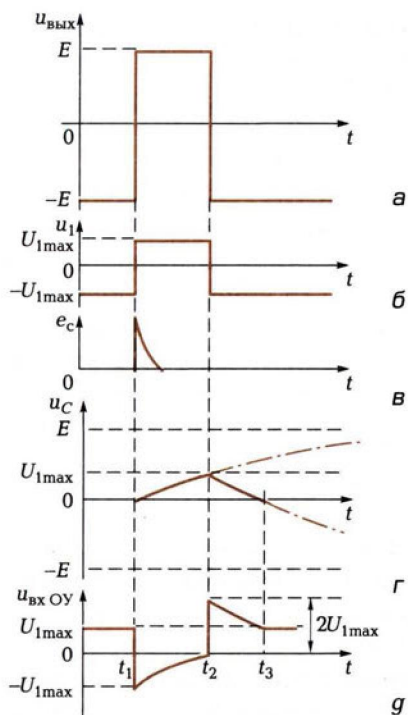


Рис. 16.13

описанному выше для мультивибратора и скачком изменятся напряжения

$$u_{\text{вых}}(t_{1+}) = E; u_1(t_{1+}) = R_1 E / (R_1 + R_2) = U_{1\text{max}};$$

$$u_{\text{вых ОУ}}(t_{1+}) = u_C(t_{1+}) - u_1(t_{1+}) = -U_{1\text{max}} < 0,$$

так как напряжение на конденсаторе скачком не изменяется (1.16). Это состояние одновибратора, которому соответствует схема замещения на рис. 16.12, б (ключ  $K$  в положении 2), временно устойчивое.

Действительно, после переключения ОУ начинается зарядка конденсатора через резистор  $R$  цепи отрицательной обратной связи (1.21)

$$u_C = E(1 - e^{-(t-t_1)/(RC)}) \quad (16.5a)$$

до момента времени  $t_2$ , определяемого условием  $u_{\text{вых ОУ}}(t_2-) = 0$ ,

$$u_C(t_2-) = U_{1\text{max}} = R_1 E / (R_1 + R_2). \quad (16.5б)$$

В этот момент времени произойдет переключение ОУ и скачком изменятся напряжения

$$u_{\text{ВЫХ}}(t_{2+}) = -E; u_1(t_{2+}) = -U_{1\text{max}};$$

$$u_{\text{ВХОУ}}(t_{2+}) = u_C(t_{2+}) - u_1(t_{2+}) = 2U_{1\text{max}}.$$

Одновременно процесс зарядки конденсатора сменится процессом его разрядки в схеме замещения цепи на рис. 16.12, б (ключ  $K$  в положении 1) до момента времени  $t_3$ , определяемого условием  $u_C(t_3) = 0$ . Далее напряжения на всех элементах одновибратора постоянные и соответствуют его устойчивому состоянию.

Длительность положительного прямоугольного импульса напряжения на выходе одновибратора определяется формулами (16.5):

$$t_2 - t_1 = RC \ln(1 + R_1/R_2).$$

Генераторы линейно изменяющегося напряжения входят в состав компараторов, устройств управления перемещением электронного луча по экрану осциллографа и т.д.

Простейший генератор линейно изменяющегося напряжения (рис. 16.14) содержит несимметричный мультивибратор, напряжение которого (рис. 16.15, а) используется для управления работой транзистора в ключевом режиме. В интервалах времени  $\Delta t_{\text{зар}}$  транзистор выключен и происходит зарядка конденсатора емкостью  $C$  через резистор  $R_K$  с большой постоянной времени  $t_{\text{зар}} = R_K C$  от источника ЭДС  $E_K$  (контур 1), в интервалах времени  $\Delta t_{\text{раз}}$  транзистор включен и происходит разрядка конденсатора с малой постоянной времени  $\tau_{\text{раз}} \approx 0$  (контур 2).

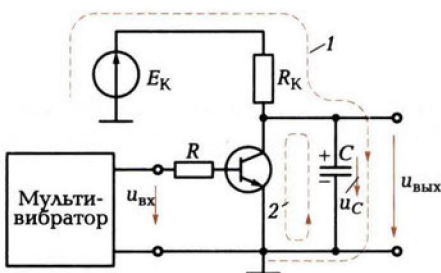


Рис. 16.14

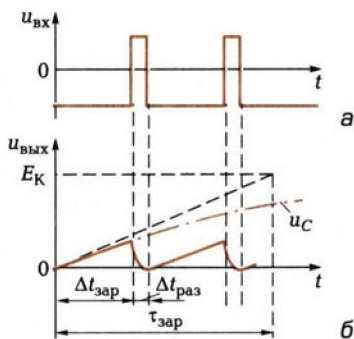


Рис. 16.15

При соблюдении условия  $\Delta t_{\text{зар}} \ll \tau_{\text{зар}}$  напряжение на конденсаторе при его зарядке (1.21) изменяется практически линейно (рис. 16.15, б).

## 16.6. ЭЛЕКТРОННЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА С УСТОЙЧИВЫМИ СОСТОЯНИЯМИ. ТРИГГЕРЫ

Триггерами называются электронные импульсные устройства с двумя устойчивыми состояниями, которым соответствуют различные значения напряжений на информационных выходах. Их применяют в счетчиках импульсов напряжения, делителях частоты следования импульсов напряжения и т. д.

По способу управления триггеры подразделяют на асинхронные и синхронные.

В *асинхронных* триггерах переключение из одного устойчивого состояния в другое осуществляется под действием определенной совокупности импульсов напряжения на управляющих входах.

В *синхронных* триггерах переключение возможно только при совпадении во времени определенной совокупности импульсов напряжения на управляющих входах и импульса напряжения на входе синхронизации.

Различают несколько типов триггеров: *RS- D-, JK-триггеры* и др. Триггеры обычно реализуются на основе логических элементов и выпускаются в виде интегральных схем. Поэтому далее ограничимся рассмотрением функциональных возможностей различных типов триггеров, пользуясь их условными обозначениями.

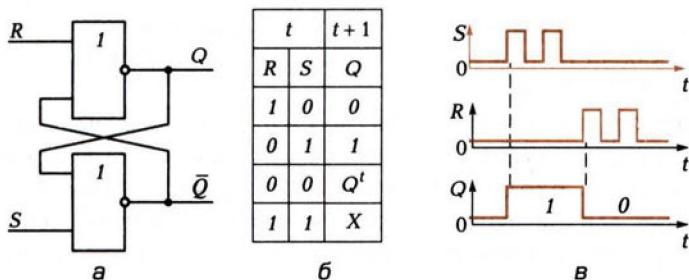


Рис. 16.16

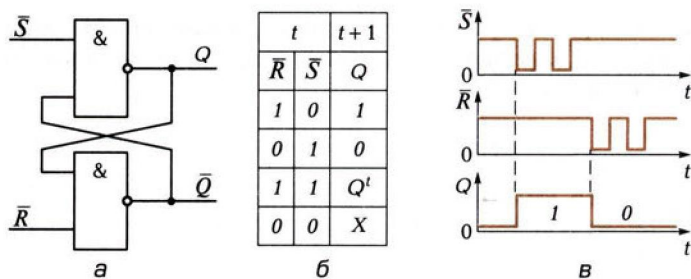


Рис. 16.17

Наибольшее применение имеют асинхронные  $RS$ - и синхронные  $D$ - и  $JK$ -триггеры.

$RS$ -триггер (Reset—Set, т. е. сброс—установка) реализуется на основе логических элементов **ИЛИ—НЕ** на два входа (рис. 16.16, а), где обозначены прямой  $Q$  и инверсный  $\bar{Q}$  информационные выходы. Работу  $RS$ -триггера иллюстрируют таблица истинности на рис. 16.16, б, где указаны значения сигналов на управляющих входах  $R$  и  $S$  в некоторый момент времени  $t$  и соответствующие им значения на выходе  $Q$  в момент времени  $t + 1$  после окончания переходного процесса, и временная диаграмма (рис. 16.16, в).

Состояние триггера сохраняется ( $Q = Q^t$ ) при совокупности сигналов на входах  $R = 0$  и  $S = 0$  и не определено при  $R = 1$  и  $S = 1$ . Последнее состояние запрещено.

$RS$ -триггер с инверсными значениями сигналов на входах  $\bar{R}$  и  $\bar{S}$  реализуется на основе логических элементов **И—НЕ**. Его схема, таблица истинности и временная диаграмма приведены на рис. 16.17, а—в. Состояние триггера сохраняется при значениях сигналов на его входах  $\bar{R} = 1$  и  $\bar{S} = 1$  и не определено при  $\bar{R} = 0$  и  $\bar{S} = 0$ . Последнее состояние запрещено.

Условные обозначения  $RS$ -триггеров с прямым и инверсным входами приведены на рис. 16.18, а и б. Кратковременным замыканием ключа  $K_1$  или  $K_2$  устанавливаются устойчивые состояния триггеров  $Q = 1$  или  $Q = 0$ .

$D$ -триггер имеет прямые (рис. 16.19, а) или инверсные (рис. 16.19, б) установочные входы  $R$  и  $S$ , один управляющий вход  $D$  и вход синхронизации  $C$ . Входы  $R$  и  $S$  называются установочными потому, что служат для предварительной установки  $D$ -триггера в состояние  $Q = 1$  или  $Q = 0$ , аналогично представленному на рис. 16.18.

Сигнал на управляющем входе  $D = 1$  или  $D = 0$  устанавливает триггер в устойчивое состояние с одноименным значением на



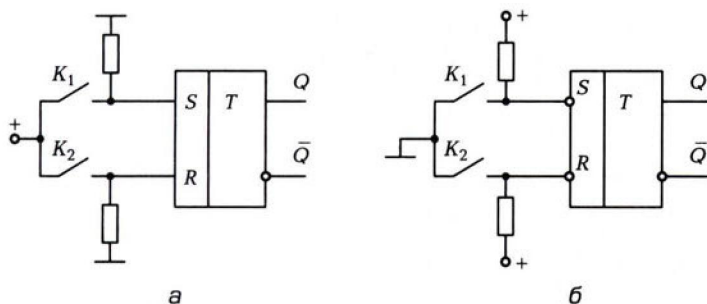


Рис. 16.18

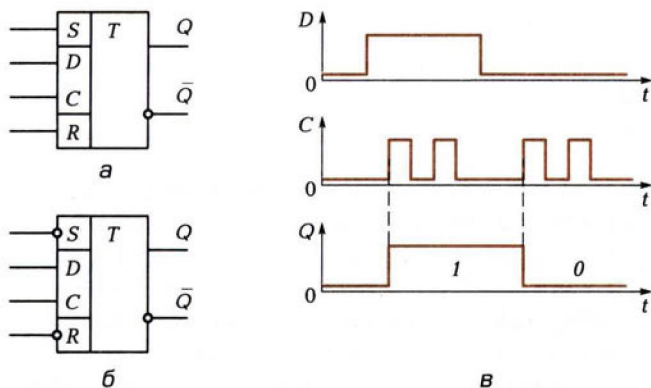


Рис. 16.19

прямо информационном выходе  $Q = 1$  или  $Q = 0$  только при одновременном действии импульса положительной полярности на входе синхронизации. Обычно переключение триггера происходит в течение времени действия переднего фронта импульса синхронизации (рис. 16.19, в).

*JK-триггер* имеет ряд преимуществ по сравнению с *RS-* и *D-*триггерами. Его условные обозначения с прямыми или инверсными установочными входами *R* и *S* приведены на рис. 16.20, а и б, где обозначено: *J* и *K* — управляющие входы, *C* — вход синхронизации.

Рассмотрим правила работы *JK-*триггера, положив, что его исходное состояние установлено.

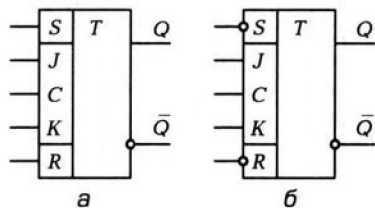


Рис. 16.20

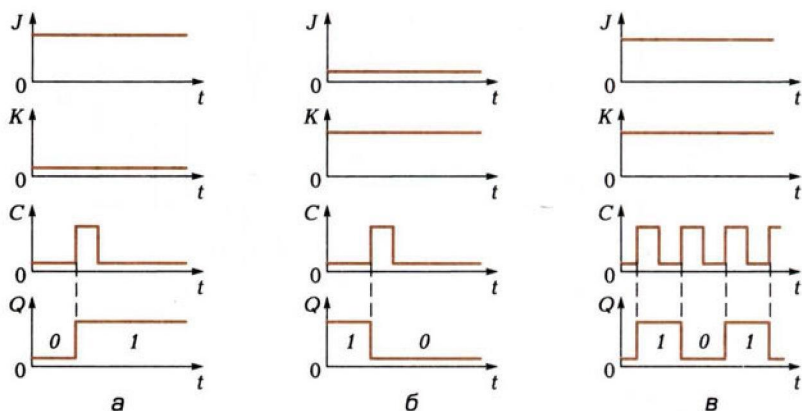


Рис. 16.21

1. Если  $J = 1$  и  $K = 0$ , то в течение времени действия переднего фронта импульса синхронизации положительной полярности триггер установится в состояние  $Q = 1$  (рис. 16.21, а).

2. Если  $J = 0$  и  $K = 1$ , то в течение времени действия переднего фронта импульса синхронизации положительной полярности триггер установится в состояние  $Q = 0$  (рис. 16.21, б).

3. Если  $J = 1$  и  $K = 1$ , то независимо от своего исходного состояния  $Q$  триггер будет переключаться в течение времени действия переднего фронта импульса синхронизации положительной полярности. При этом частота изменения напряжения на выходе триггера будет в два раза меньше частоты импульсов синхронизации (рис. 16.21, в).

4. Если  $J = 0$  и  $K = 0$ , то исходное состояние  $Q$  триггера под действием импульса синхронизации не изменится.

На практике часто встречаются двухступенчатые  $JK$ -триггеры

(условное обозначение  $TT$ ) с прямыми или инверсными установочными входами  $R$  и  $S$  (рис. 16.22, а и б). Правила их работы отличаются от описанных выше тем, что изменение состояния триггера происходит не в течение времени действия переднего фронта импульса синхронизации, а в течение времени действия его заднего фронта.

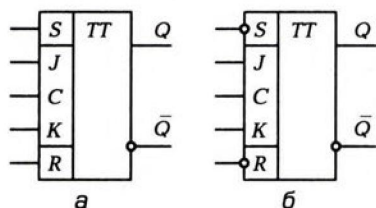


Рис. 16.22

На основе логических элементов и импульсных устройств строятся цифровые логические автоматы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

---

1. Какая обратная связь (положительная или отрицательная) применяется в электронных генераторах?
2. Назовите три основные логические операции и соответствующие им логические элементы, достаточные для любых логических преобразований.
3. Изобразите временную диаграмму напряжения на выходе симметричного и несимметричного мультивибратора.
4. В чем различие между асинхронными и синхронными триггерами?

### ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

---

1. Определите значение сопротивления резистивного элемента  $R$  в схеме симметричного мультивибратора (см. рис. 16.10, а) с частотой работы  $f = 1$  кГц при значениях параметров элементов  $R_1 = 2$  кОм,  $R_0 = 10$  кОм,  $C = 0,5$  мкФ, ОУ идеальный.

*Ответ:* 3 кОм.

2. Определите отношение сопротивлений резистивных элементов  $R_1/R_2$  в схеме одновибратора на рис. 16.12, а с прямоугольным импульсом напряжения на выходе  $u_{\text{вых}}$  длительностью  $t_2 - t_1 = 100$  мкс (см. рис. 16.13) при значениях параметров элементов  $R = 5$  кОм,  $C = 0,1$  мкФ, ОУ и диод  $VD$  идеальные.

*Ответ:* 0,2214.