

## Работа 6.4. Генераторы прямоугольных импульсов

В вычислительной технике, радиотехнике, телевидении, системах автоматического управления используют генераторы, колебаний несинусоидальной формы (прямоугольной, треугольной и т. д.). Генераторы, предназначенные для получения колебаний прямоугольной формы, называют *мультивибраторами*. В отличие от генераторов гармонических колебаний в мультивибраторе используется цепь обратной связи первого порядка, а активный элемент работает в нелинейном режиме.

Мультивибраторы работают в режиме автоколебаний или в ждущем режиме. Соответственно, различают автоколебательные и моностабильные (ждущие) мультивибраторы.

Схема автоколебательного мультивибратора на операционном усилителе показана на рис. 6.4.1. Активным элементом является инвертирующий триггер Шмитта, реализованный на ОУ и резисторах  $R_1$ ,  $R_2$ . Резистор  $R_3$  и конденсатор  $C$  формируют времязадающую цепь, определяющую длительность формируемых импульсов.

Операционный усилитель охвачен положительной обратной связью (цепь  $R_1-R_2$ ) и находится в режиме насыщения, поэтому напряжение на выходе  $U_{\text{вых}} = \pm U_{\text{нас}}$ . Переключение ОУ из положительного насыщения в отрицательное и обратно происходит, когда напряжение на инвертирующем входе достигает положительного и отрицательного порогов срабатывания, равных  $+\beta U_{\text{нас}}$  и  $-\beta U_{\text{нас}}$  соответственно. Здесь  $\beta$  – коэффициент обратной связи:  $\beta = R_1 / (R_1 + R_2)$ .

Передающая характеристика триггера Шмитта показана на рис. 6.4.2.

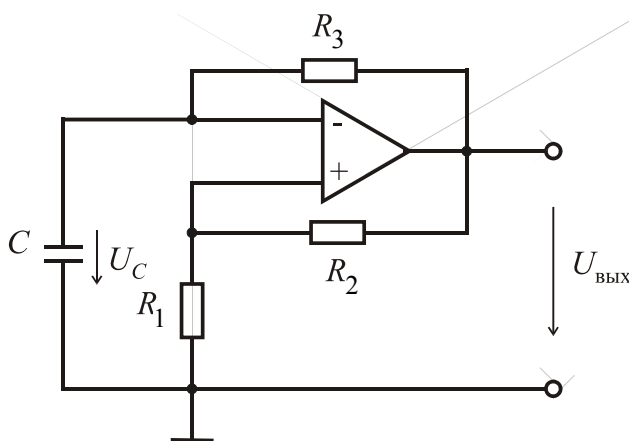


Рис. 6.4.1

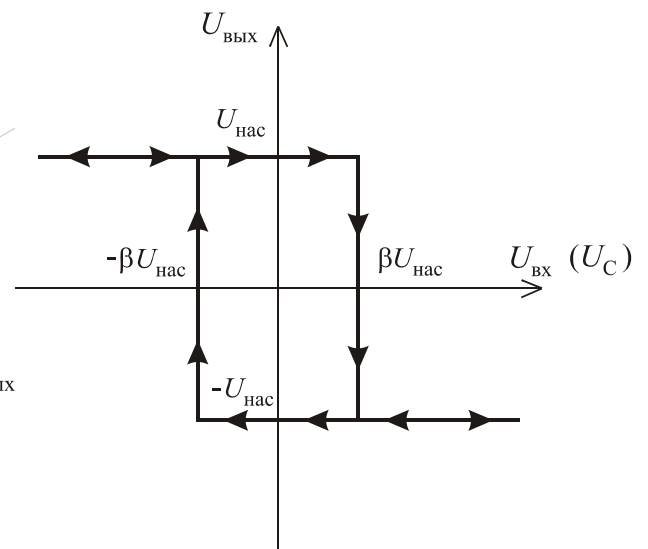


Рис. 6.4.2

Рассмотрим работу мультивибратора, предположив, что в момент  $t = 0$  напряжение на выходе схемы  $U_{\text{вых}} = +U_{\text{нас}}$ , а напряжение конденсатора  $U_C(0) < \beta U_{\text{нас}}$ . Напряжение  $u_C(t)$  изменяется по закону

$$u_C(t) = [u_C(0) - U_{\text{нас}}] e^{-t/\tau} + U_{\text{нас}}.$$

Постоянная времени  $\tau = R_3 C$ . В момент  $t_1$  напряжение  $u_C(t)$  достигает величины  $\beta U_{\text{нас}}$ , ОУ переключается в состояние отрицательного насыщения. Выходное напряжение скачком принимает значение, равное  $-U_{\text{нас}}$ . Начинается перезарядка конденсатора. Напряжение  $u_C(t)$  изменяется по закону

$$u_C(t) = [u_C(t_1) + U_{\text{нас}}] e^{-(t-t_1)/\tau} - U_{\text{нас}}.$$

В момент  $t_2$  напряжение  $u_C(t)$  становится равным  $-\beta U_{\text{нас}}$  и ОУ переключается в состояние положительного насыщения. Далее процесс периодически повторяется. Временные диаграммы напряжений  $u_C(t)$  и  $u_{\text{вых}}(t)$  показаны на рис. 6.4.3.

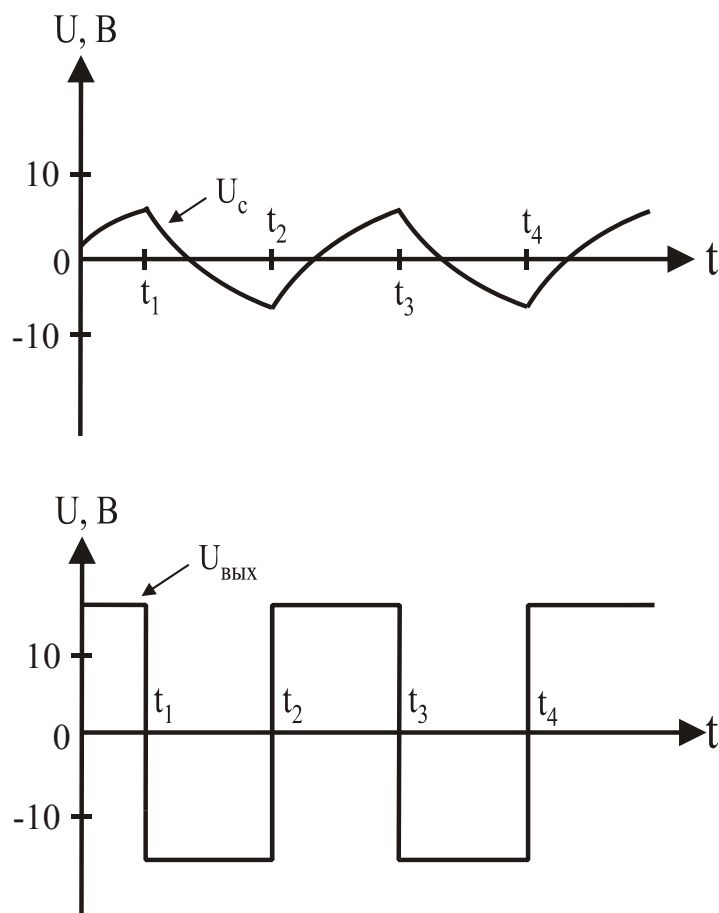


Рис. 6.4.3

На выходе мультивибратора наблюдаются прямоугольные импульсы амплитудой  $\pm U_{\text{нас}}$ . Период повторения импульсов  $T = 2R_3C \ln[1 + (2R_1/R_2)]$ . При  $R_1 = R_2$  период колебаний  $T \approx 2.2R_3C$ .

*Пример 6.4.1.* Рассчитать частоту повторения импульсов на выходе мультивибратора (рис. 14.9), если  $R_1 = R_2 = 10 \text{ кОм}$ ,  $R_3 = 4.54 \text{ кОм}$ ,  $C = 10 \text{ нФ}$ .

*Решение.* Поскольку  $R_1 = R_2$ , частота повторения импульсов

$$f = \frac{1}{T} \approx \frac{1}{2.2R_3C} = \frac{1}{2.2 \cdot 4.54 \cdot 10^3 \cdot 10^{-8}} = 10^4 \text{ Гц (10 кГц)}.$$

Мультивибратор на рис. 6.4.1 является симметричным, поскольку положительные и отрицательные импульсы равны. Положительные и отрицательные импульсы различной длительности можно получить в несимметричном мультивибраторе, показанном на рис. 6.4.4. Перезарядка конденсатора во время формирования положительных и отрицательных импульсов осуществляется через различные резисторы. Когда напряжение на выходе ОУ положительно, открыт диод  $VD1$  и перезарядка происходит с постоянной времени  $\tau_1 = R_3C$ . Когда напряжение на выходе ОУ отрицательно, открыт диод  $VD2$  и постоянная времени  $\tau_2 = R_4C$ . Можно менять длительность положительных и отрицательных импульсов, варьируя сопротивления резисторов  $R_3$  и  $R_4$ .

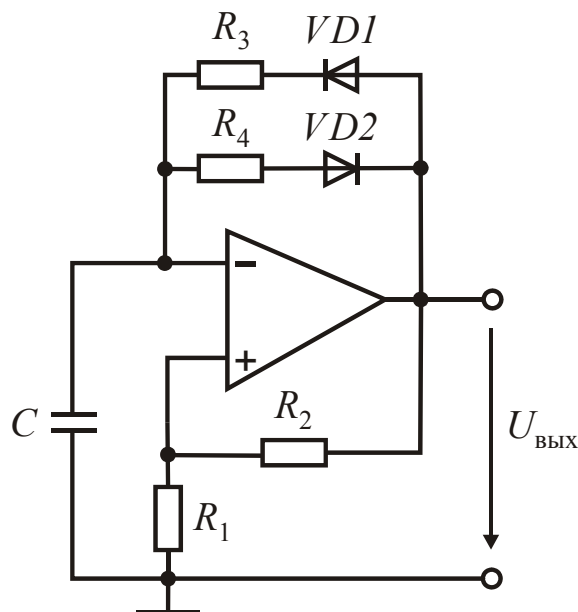


Рис. 6.4.4

**Ждущие мультивибраторы.** Назначение таких устройств – получение одиночных импульсов заданной длительности. Схема ждущего мультивибратора показана на рис. 6.4.5. Импульс на выходе возникает при

подаче на вход специального запускающего сигнала. Поскольку на входе включена дифференцирующая цепь, форма и длительность такого сигнала могут быть произвольными.

Устойчивое состояние ждущего мультивибратора достигается включением диода  $VD$  параллельно конденсатору  $C_1$ . Когда выходное напряжение  $u_{\text{вых}} = -U_{\text{нас}}$ , диод открыт и напряжение конденсатора  $u_c \approx 0.7$  В. Дифференциальное напряжение на входе ОУ отрицательно, и схема находится в устойчивом состоянии. Этому режиму соответствует интервал  $0 - t_1$  на рис. 6.4.6. При подаче на вход импульса положительной полярности в момент  $t_1$  дифференциальное напряжение на входе ОУ становится положительным и ОУ переключается в состояние положительного насыщения:  $u_{\text{вых}}(t_1) = +U_{\text{нас}}$ . Диод закрывается, и конденсатор  $C_1$  начинает заряжаться. Когда напряжение на инвертирующем входе ОУ достигает величины  $\beta U_{\text{нас}}$  (момент  $t_2$ ), дифференциальное напряжение становится отрицательным и ОУ переключается в состояние отрицательного насыщения:  $u_{\text{вых}}(t_2) = -U_{\text{нас}}$ . Напряжение  $u_c(t)$  начинает уменьшаться. Когда  $u_c(t)$  достигает значения  $-0.7$  В, диод открывается и схема вновь оказывается в устойчивом состоянии.

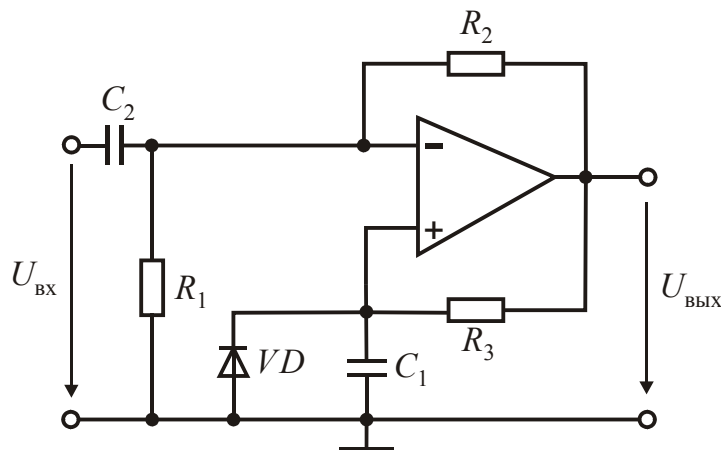


Рис. 6.4.5

Длительность импульса, формирующегося на выходе ждущего мультивибратора, определяется выражением

$$t_{\text{и}} = t_2 - t_1 = R_3 C_1 \ln \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1} \right).$$

Время восстановления устойчивого состояния схемы называется *временем релаксации* и определяется формулой

$$t_p = R_3 C_1 \ln \left( \frac{2R_1 + R_2}{R_1 + R_2} \right).$$

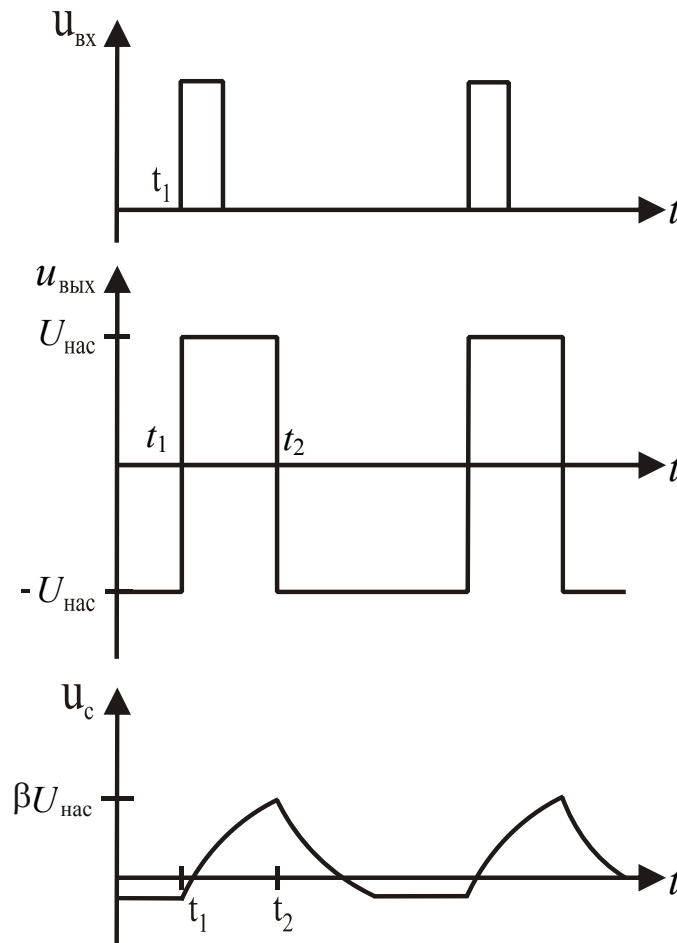


Рис. 6.4.6

### Рекомендации по сборке схем

При сборке схем мультивибраторов использовать модели операционных усилителей LM324 или uA741 из библиотеки EVAL.slb. Примеры схем можно найти в файлах W6\_4\_1, W6\_4\_2, W6\_4\_3 в папке Electronics\Labs.

### Рекомендуемая литература

1. Гусев, В. Г. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. для вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2004. – 790 с.
2. Быстров, Ю. А. Электронные цепи и микросхемотехника: учеб. / Ю. А. Быстров, И. Г. Мироненко. – М.: Высш. шк., 2002. – 384 с.: ил.

3. Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл: пер. с англ. – 6-е изд. – М.: Мир, 2003. – 704 с., ил.

4. Довгун, В. П. Электротехника и электроника: учеб. пособие: в 2-х ч. Ч. 2 / В. П. Довгун. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 252 с.