

## Лекция 6

### Импульсный режим работы ОУ. Компаратор

#### Цель лекции:

Изучение принципов работы генераторов импульсных сигналов;

Изучить принцип действия триггера Шмитта.

#### План лекции:

1. Импульсный режим работы ОУ, компаратор.
2. Триггер Шмитта.
3. Передаточная характеристика триггера Шмитта.

Уровни входного сигнала ОУ в импульсном режиме превышают значения, соответствующие линейной области амплитудной характеристики ОУ. Выходное напряжение ОУ в импульсном режиме равно его максимально возможной величине и определяется либо напряжением  $U_{\text{вых. max}}^+$ , либо  $U_{\text{вых. max}}^-$ . В импульсном режиме ОУ работает на горизонтальных участках амплитудной характеристики (см. Лекцию 2).

Работу ОУ в импульсном режиме рассмотрим на примере **компаратора** – схемы, осуществляющей сравнение измеряемого входного напряжения ( $U_{\text{вх}}$ ) с опорным напряжением ( $U_{\text{оп}}$ ). Опорное напряжение представляет собой неизменное по величине напряжение положительной или отрицательной полярности, а входное напряжение изменяется во времени. При достижении входным напряжением уровня  $U_{\text{оп}}$  происходит изменение полярности напряжения на выходе ОУ, например с  $U_{\text{вых. max}}^+$  на  $U_{\text{вых. max}}^-$ . При  $U_{\text{оп}}=0$  компаратор осуществляет фиксацию момента перехода входного напряжения через нуль.

Простейшая схема компаратора и его передаточная характеристика показаны на рис. 1а. Входное напряжение компаратора равно  $U_0 = U_{\text{вх}} - U_{\text{оп}}$ , если  $U_{\text{вх}} < U_{\text{оп}}$ ,  $U_0 < 0$ , то  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых. max}}^+$ . При  $U_{\text{вх}} > U_{\text{оп}}$  и  $U_0 > 0$ ,  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых. max}}^-$ . Компаратор переключается в момент равенства  $U_{\text{вх}} = U_{\text{оп}}$ . Выходное напряжение имеет прямоугольную форму. Длительность прямоугольных импульсов зависит от соотношения амплитудного значения синусоиды  $U_m$  и  $U_{\text{оп}}$ . Значит, компаратор можно применять для преобразования синусоидального сигнала в прямоугольные импульсы напряжения.

Временные диаграммы работы для положительного значения напряжения  $U_{\text{оп}}$  и периодического входного сигнала приведены на рис. 1б.

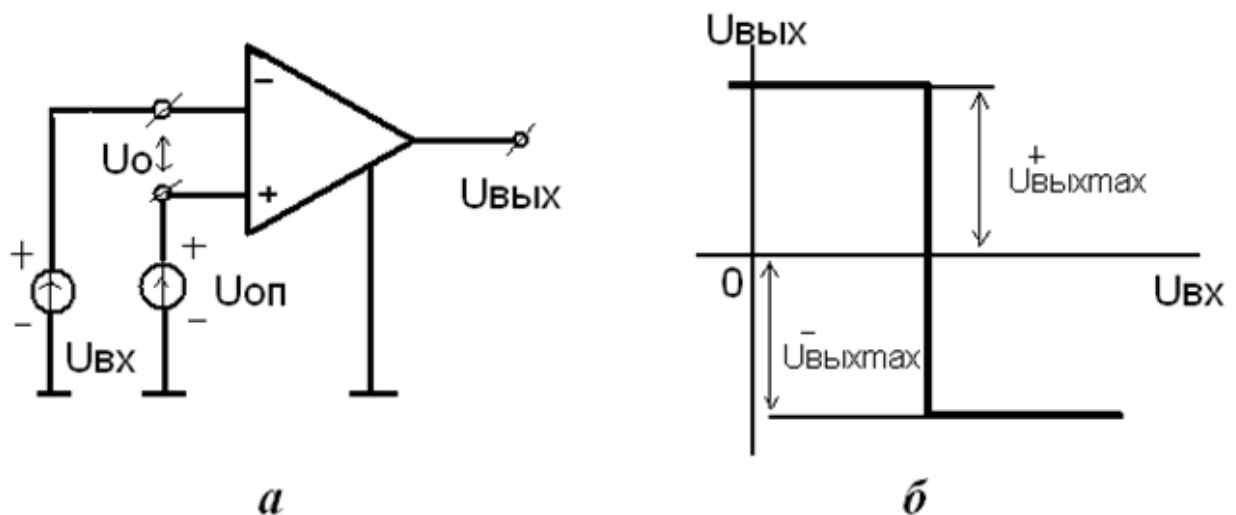


Рис. 1. Схема компаратора на ОУ (а) и его передаточная характеристика (б)

Основными параметрами компараторов являются чувствительность и быстродействие. Под чувствительностью, или разрешающей способностью, понимают минимальную разность входных аналоговых сигналов, при которой компаратор изменяет свое состояние по выходу.

Выходной сигнал компаратора почти всегда действует на входы логических цепей и потому согласуется с ними по уровню и мощности.

Таким образом, компаратор – это устройство перехода от аналоговых к цифровым сигналам. Компараторы являются одним из основных узлов любого аналого-цифрового преобразователя.

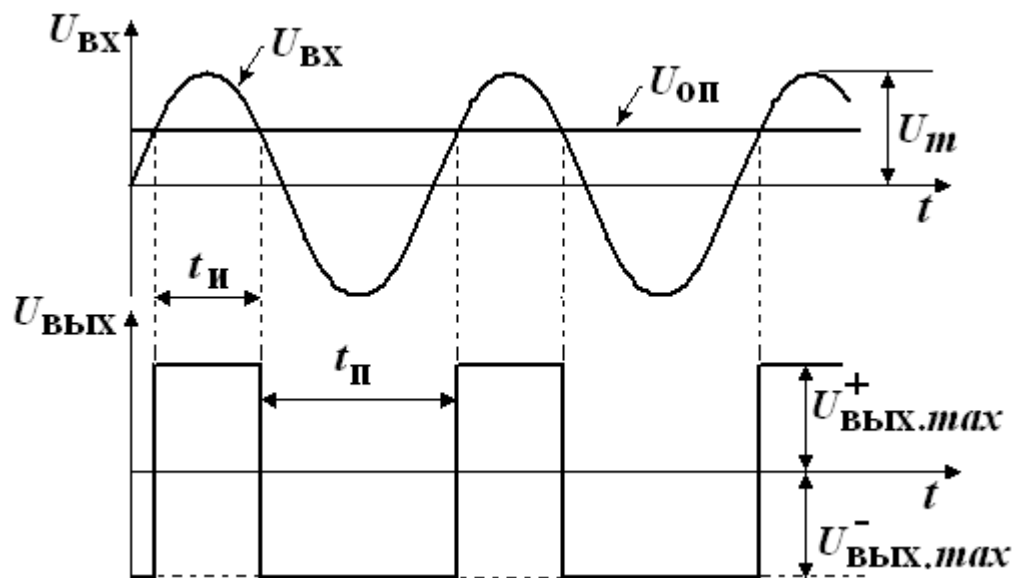


Рис. 2. Временные диаграммы компаратора для периодического входного сигнала

Компараторы нашли широкое применение в системах автоматического управления в измерительной технике, а также для построения различных устройств импульсного и цифрового действия (АЦП, ЦАП).

### Генераторы импульсных сигналов

Импульсные (релаксационные) генераторы могут работать в одном из трех режимов: автоколебательном, ждущем и синхронизации.

**В автоколебательном режиме** генераторы непрерывно формируют импульсные сигналы без внешнего воздействия. В режиме автоколебаний у релаксационного генератора нет состояния устойчивого равновесия. Он непрерывно переходит из одного состояния квазиравновесия в другое без

внешних воздействий. При этом генерируются импульсы, именно в таком режиме работает мультивибратор.

**В ждущем режиме** генератор имеет одно состояние устойчивого равновесия и одно квазиравновесия. Генераторы формируют импульсный сигнал лишь по приходу внешнего сигнала. Переход из устойчивого равновесия в квазиравновесие происходит под действием внешнего запускающего импульса, а обратный переход – самопроизвольно.

**В режиме синхронизации** генераторы вырабатывают импульсы напряжения, частота которых равна или кратна частоте синхронизирующего сигнала. Режим синхронизации подобен автоколебательному режиму, но переход из одного квазиравновесного состояния в другое осуществляется под действием периодических синхронизирующих внешних импульсов.

Основой релаксационных генераторов на ОУ обычно является триггер Шмитта. Триггер Шмитта представляет собой компаратор, охваченный ПОС.

### Триггер Шмитта

**Триггером** называется устройство, имеющее два устойчивых состояния и способное под действием управляющих сигналов скачком переходить из одного устойчивого состояния в другое.

Триггер Шмитта (или пороговое устройство) функционально является компаратором, уровни включения и выключения которого не совпадают, как у обычного компаратора, а различаются на величину, называемую **гистерезисом переключения**  $\Delta U$ . Это бистабильная схема, переключение которой зависит от амплитуды запускающих импульсов. Такие схемы успешно применяются там, где требуется изменять форму импульсов, формировать прямоугольные импульсы из синусоидальных колебаний и фиксировать превышение сигналами постоянного тока установленного уровня (порога). Схема триггера Шмитта на ОУ представлена на рис. 3а.

Схема имеет положительную обратную связь, выполненную в виде сопротивлений  $R_1, R_2$ . Коэффициент ПОС  $\chi = R_1 / (R_1 + R_2)$ .

Для нормальной работы схемы, должно быть выполнено условие  $K_d \cdot \chi > 1$ . Рассмотрим работу схемы. Пусть входное отрицательное напряжение, подаваемое на инверсный вход, превышает напряжение на неинвертирующем входе. Этому соответствует выходное напряжение  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых. max}}^+$ . Тогда на неинвертирующем входе будет  $U_{\text{вх2}} = U_{\text{вых. max}}^+ \cdot \chi$  - это значение соответствует  $U_{\text{вкл}}$ . Если изменить полярность сигнала  $U_{\text{вх1}}$  на инвертирующем входе и увеличить его значение до  $U_{\text{вх2}}$ , то выходное напряжение  $U_{\text{вых. max}}^+$  за счет действия ПОС изменится скачком до значения  $U_{\text{вых. max}}^-$ .

При этом напряжение на неинвертирующем входе изменится до величины  $U_{\text{вх2}} = U_{\text{вых. max}}^- \cdot \chi$  соответствующей  $U_{\text{вкл}}$ . Таким образом, переключение схемы в состояние  $U_{\text{вых. max}}^-$  происходит при достижении  $U_{\text{вх}}$  **напряжения (порога) срабатывания**  $U_{\text{ср}}$ , а возвращение в исходное состояние  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вых. max}}^+$  - при снижении  $U_{\text{вх}}$  до **напряжения (порога) отпущения**  $U_{\text{отп}}$ .

Чтобы произошло новое переключение, необходимо снова создать отрицательную полярность  $U_{\text{вх1}}$  с величиной  $U_{\text{вх1}} > U_{\text{вх2}}$ . Триггер Шмитта обладает передаточной характеристикой с гистерезисом (рис. 4.16, б). Ширина петли гистерезиса равна сумме двух величин;  $\Delta U_{\text{вх}} = U_{\text{вых. max}}^+ \cdot \chi + U_{\text{вых. max}}^- \cdot \chi$ . Так как  $\chi = R_1 / (R_1 + R_2)$  то легко изменять ширину петли гистерезиса. В таких схема могут быть самые различные источники опорного напряжения.

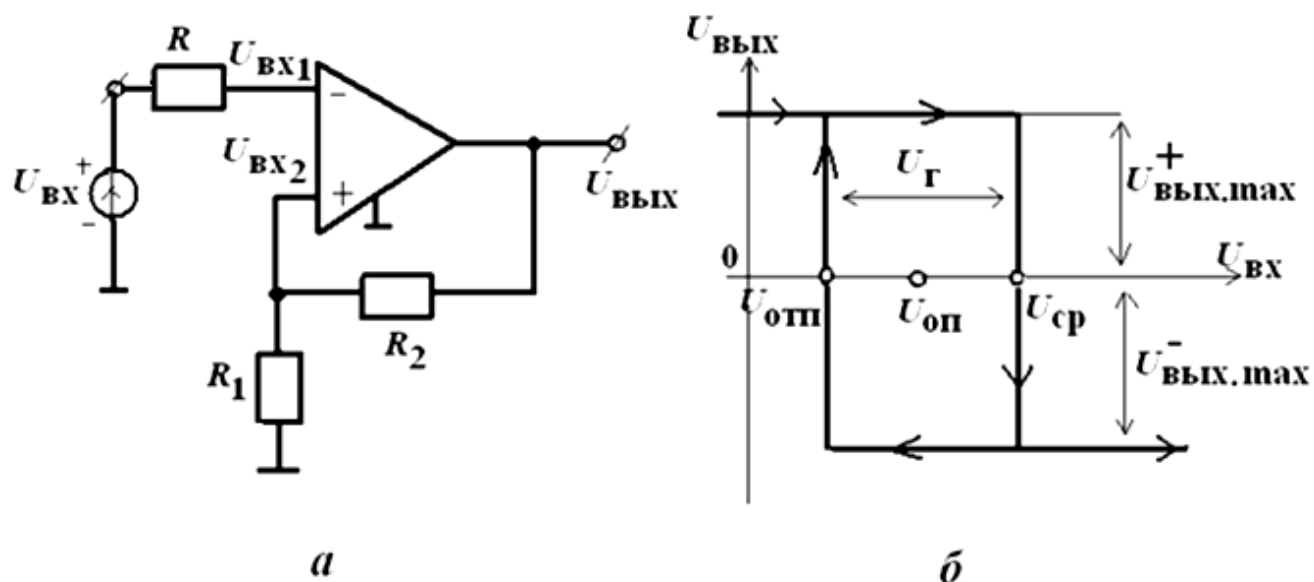


Рис. 3. Схема триггера Шмитта (а) и его передаточная характеристика (б)

Рис. 4. иллюстрирует применение триггера Шмитта для преобразования входного напряжения произвольной формы в прямоугольное напряжение с заданным временем установления, не зависящим от формы входного напряжения.

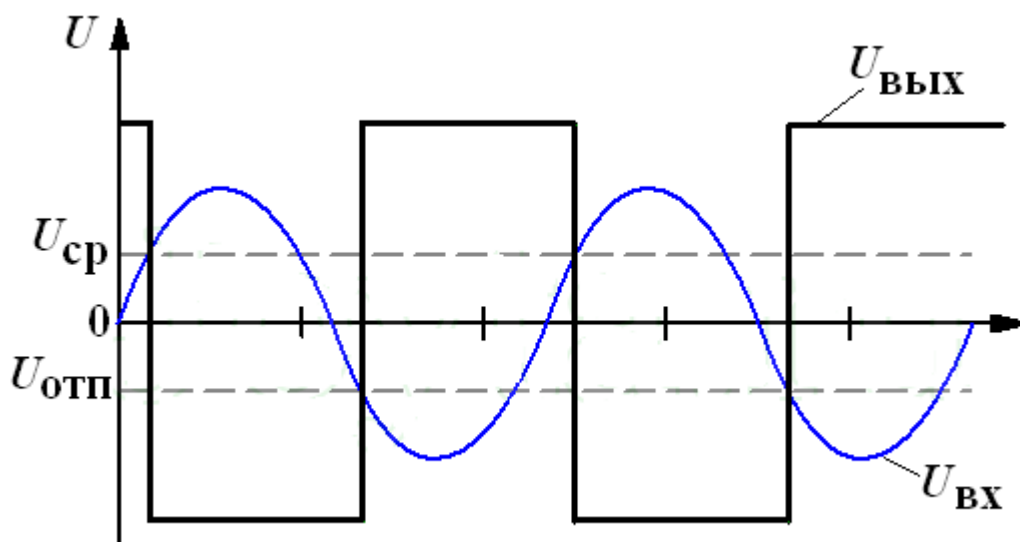


Рис. 4. Временные диаграммы работы триггера Шмитта