

11.6. КОМПАРАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЙ

Компаратор, или сравнивающее устройство, предназначен для сравнения двух напряжений, поступающих на его входы. Одно из сравниваемых напряжений, называемое *опорным*, может быть постоянным

или медленно меняющимся, другое обычно имеет относительно большую скорость изменения. В зависимости от знака разности входных напряжений на выходе компаратора устанавливается максимальный ($U_{\text{вых max}}$) или минимальный ($U_{\text{вых min}}$) уровень напряжения.

Компараторы применяются в устройствах временной задержки импульсов, для получения перепадов напряжений или импульсов малой длительности, измерения фазы синусоидальных колебаний и других целей.

В качестве компараторов широко используются интегральные ОУ. Большой коэффициент усиления интегрального ОУ обеспечивает установление высокого или низкого уровня выходного напряжения при незначительном отличии входных напряжений, т. е. изменение уровней $u_{\text{вых}}$ происходит при $u_{\text{вх1}} - u_{\text{вх2}} \approx 0$.

Компараторы напряжений без гистерезиса. Простейшая схема компаратора на ОУ показана на рис. 11.18, а.

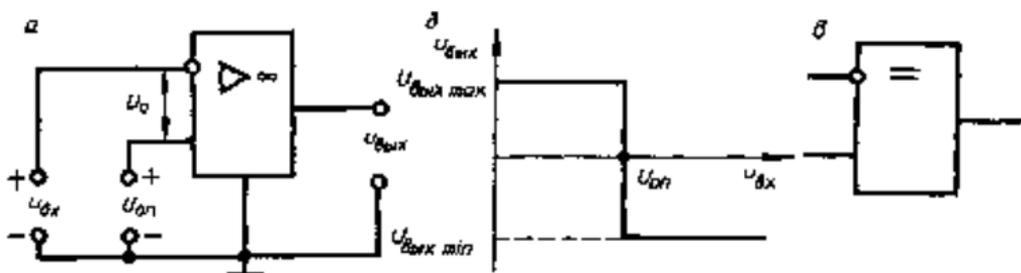


Рис. 11.18. Схема компаратора

Входное напряжение подано на инвертирующий, а опорное — на неинвертирующий вход. Если $u_{\text{вх}} < U_{\text{оп}}$, то входное напряжение ОУ $U_{\text{д}} < 0$ и $u_{\text{вых}} = U_{\text{вых max}}$. При $u_{\text{вх}} > U_{\text{оп}}$ напряжение $U_{\text{д}} > 0$ и $u_{\text{вых}} = U_{\text{вых min}}$. Полярность выходного напряжения изменяется при переходе входного напряжения через значение $U_{\text{оп}}$ и ввиду большого значения коэффициента усиления носит ступенчатый характер. Передаточная характеристика такого компаратора показана на рис. 11.18, б. Если поменять местами источники $u_{\text{вх}}$ и $U_{\text{оп}}$ или изменить их полярность, то произойдет инверсия передаточной характеристики.

Условное обозначение компараторов напряжения приведено на рис. 11.18, в.

Недостатком рассмотренного компаратора является то, что уровни выходных напряжений, определяемые напряжениями источников питания, обычно не соответствуют логическим уровням цифровых ИМС. Это затрудняет их совместную работу, и требуется специальное согласо-

щее устройство, преобразующее выходные уровни компаратора в логические уровни цифровых ИМС.

Простейшее согласующее устройство (рис. 11.19, а) состоит из резистора R и ограничительных диодов $VD1$ и $VD2$, подключенных к выходу ОУ. При $u_{\text{вых}} = U_{\text{вых max}}$ диод $VD1$ открыт и выходное напряжение компаратора $u'_{\text{вых}}$ ограничивается на уровне $U_{\text{см}} + U_{VD}$.

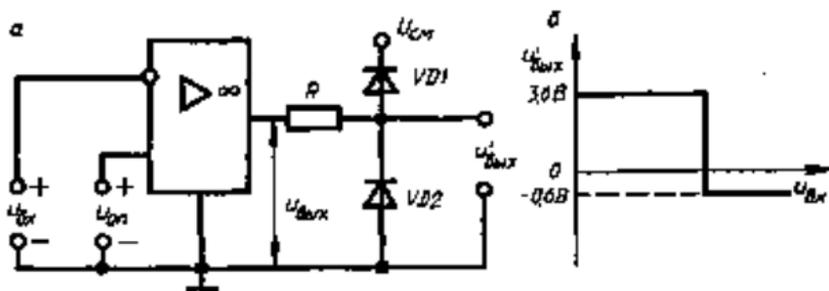


Рис. 11.19. Устройство согласования уровней компаратора на ОУ с уровнями логических ИМС (а) и график выходного напряжения (б)

При $u_{\text{вых}} = U_{\text{вых min}}$ открытым окажется диод $VD2$, и напряжение $u'_{\text{вых}}$ будет равно падению напряжения на этом диоде.

Обычно падение напряжения на диоде в прямом включении (при использовании кремниевых диодов) в среднем составляет 0,6 В. Поэтому при $U_{\text{см}} = 3$ В произойдет ограничение выходного напряжения $u_{\text{вых}}$ сверху на уровне 3,6 В и снизу — на уровне $-0,6$ В (рис. 11.19, б).

Компараторы напряжений с гистерезисом. Широкое применение получили компараторы на ОУ с положительной ОС, известные под названием триггеров Шмитта, или пороговых устройств. В триггере Шмитта пороговые уровни переключения ОУ из одного состояния в другое, называемые *уровнями срабатывания* $U_{\text{срб}}$ и *отпускаения* $U_{\text{отп}}$, не совпадают, как у обычного компаратора. Они различаются на величину, называемую *гистерезисом переключения* $\Delta U_{\text{г}} = U_{\text{срб}} - U_{\text{отп}}$.

На рис. 11.20 показана схема триггера Шмитта на ОУ (а) и его передаточная характеристика (б) при $U_{\text{отп}} = 0$. Если $u_{\text{вх}} < 0$, то $u_{\text{вых}} = U_{\text{вых max}}$, и на неинвертирующий вход с делителя $R1R2$ подается напряжение

$$U_{\text{вх max}}^{(+)} = \frac{U_{\text{вых max}}}{R1 + R2} R2 = U_{\text{срб}}. \quad (11.14)$$

Пока $u_{\text{вх}} < u_{\text{вх}}^{(+)}$, увеличение входного напряжения не вызывает изменение выходного. При достижении входным

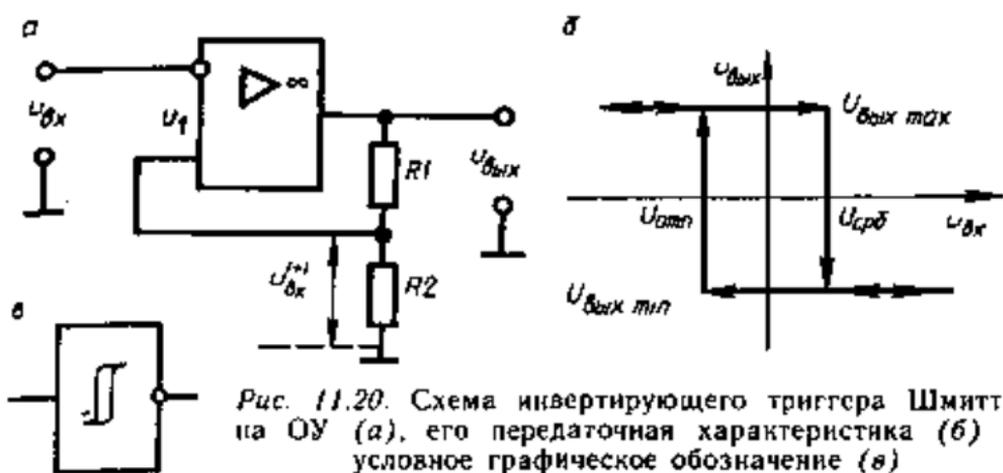


Рис. 11.20. Схема инвертирующего триггера Шмитта на ОУ (а), его передаточная характеристика (б) и условное графическое обозначение (в)

напряжением значения $U_{\text{вх}}^{(+)}_{\text{min}}$ и дальнейшем его увеличении изменяется полярность напряжения U_1 между входами, и на выходе ОУ напряжение скачком устанавливается на уровне $U_{\text{вых min}}$. Напряжение $u_{\text{вх}}$, при котором происходит скачкообразное изменение уровня выходного напряжения, называют *напряжением (или порогом) срабатывания* $U_{\text{срб}}$. После переключения на неинвертирующем входе устанавливается отрицательное напряжение

$$U_{\text{вх min}}^{(+)} = U_{\text{отп}} = \frac{U_{\text{вых min}}}{R1 + R2} R2. \quad (11.15)$$

; При уменьшении напряжения $u_{\text{вх}}$ выходное напряжение поддерживается на отрицательном уровне $U_{\text{вых min}}$ до тех пор, пока напряжение $u_{\text{вх}}$ больше напряжения $U_{\text{вх min}}^{(+)}$, определяемого выражением (11.15). При достижении входным напряжением $u_{\text{вх}}$ значения $U_{\text{вх min}}^{(+)}$ и дальнейшем его уменьшении изменяется полярность напряжения U_1 , и на выходе ОУ напряжение скачком устанавливается на максимальном положительном уровне $U_{\text{вых max}}$. Напряжение $U_{\text{вх min}}^{(+)}$, при котором происходит повторное изменение уровня выходного напряжения, называют *напряжением отпускания* $U_{\text{отп}}$.

Из выражений (11.14) и (11.15) следует, что при одинаковых абсолютных значениях $U_{\text{вых max}}$ и $U_{\text{вых min}}$ равны и абсолютные значения напряжений $U_{\text{срб}}$ и $U_{\text{отп}}$, и ширина зоны гистерезиса

$$\Delta U_{\text{г}} = U_{\text{срб}} - U_{\text{отп}} = (U_{\text{вых max}} - U_{\text{вых min}}) \frac{R2}{R1 + R2}.$$

определяется соотношением сопротивлений резисторов R и $R2$.

Рассмотренный триггер Шмитта называют *инверти-*

рующим, так как у него за пределами зоны гистерезиса полярность выходного напряжения противоположна полярности входного. Его условное обозначение показано на рис. 11.20, в.

Значения напряжений $U_{срб}$ и $U_{отп}$ можно изменить, включив в цепь неинвертирующего входа источник опорного напряжения, как показано на рис. 11.21, а. Вид пе-

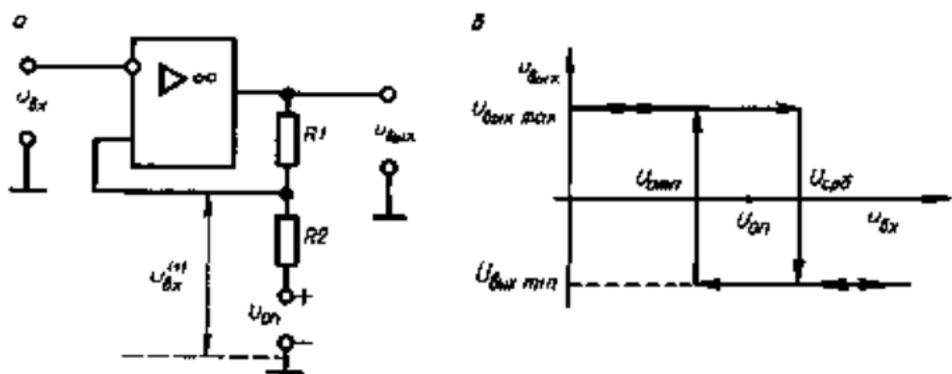


Рис. 11.21. Схема инвертирующего триггера Шмитта на ОУ с источником опорного напряжения (а) и его передаточная характеристика (б)

редаточной характеристики триггера для этого случая показан на рис. 11.21, б.

Если поменять местами подключения входов ОУ (рис. 11.22, а), то за пределами зоны гистерезиса полярности входного и выходного напряжений совпадут (рис. 11.22, б). Это *неинвертирующий* триггер Шмитта (рис. 11.22, в).

Триггер Шмитта часто используют для получения прямоугольных импульсов из синусоидального напряжения. При $U_{оп} = 0$ (см. рис. 11.20, а) длительности положительных и отрицательных импульсов одинаковы (рис. 11.23, а). При наличии опорного напряжения (рис. 11.21, а) соотношение между длительностями импульсов можно изменять, изменяя пороги срабатывания и отпуска-

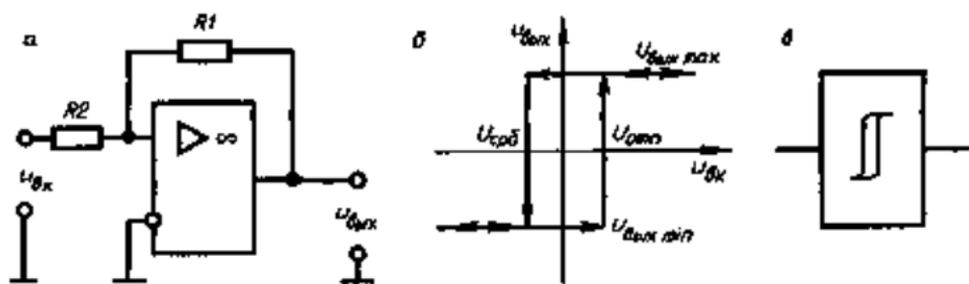


Рис. 11.22. Схема неинвертирующего триггера Шмитта на ОУ (а), его передаточная характеристика (б) и условное графическое обозначение (в)

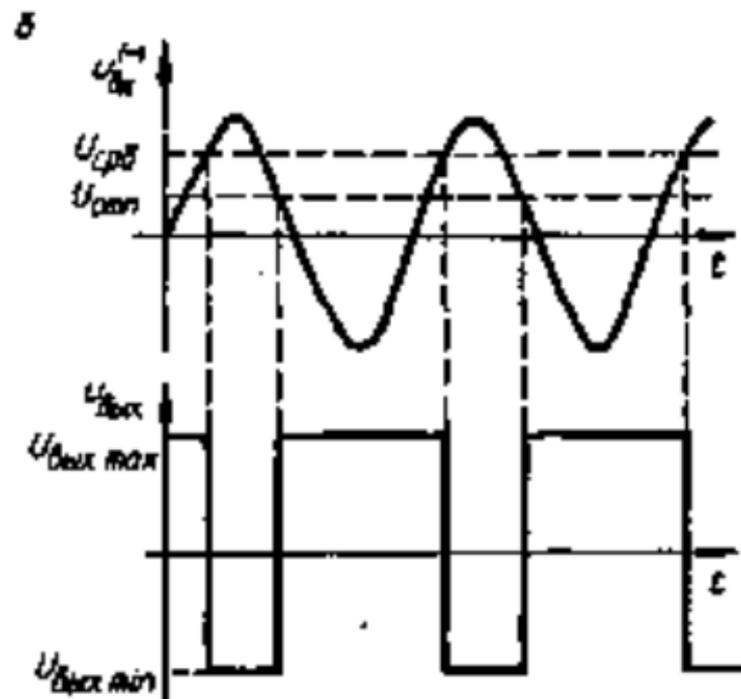
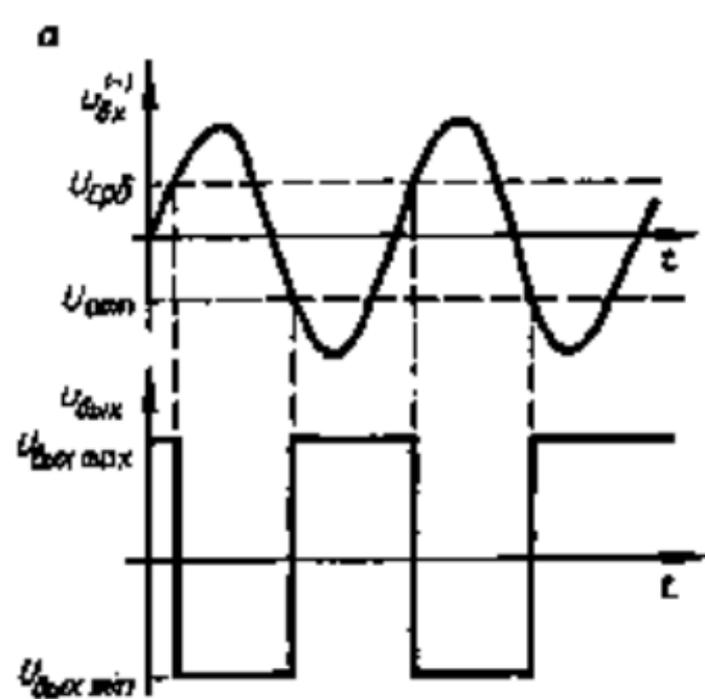


Рис. 11.23. Графики, поясняющие принцип получения прямоугольных импульсов из синусоидального напряжения

ния соответствующим выбором полярности и значения опорного напряжения (рис. 11.23, б).