

Лабораторная работа № 17

Исследование работы диодных ограничителей

Четырехполюсник, на выходе которого напряжение $U_{\text{вых}}(t)$ остается практически неизменным и равным U_0 , в то время как входное напряжение $U_{\text{вх}}(t)$ может превышать или быть ниже какого-то наперед данного напряжения E , называется ограничителем.

Если $U_{\text{вых}}(t) < E$, то ограничение происходит сверху (рис. 1), если $U_{\text{вых}}(t) > E'$, то ограничение происходит снизу. Если $E' < U_{\text{вых}}(t) < E$, то ограничение двустороннее (рис. 3). Если входной сигнал не превосходит по амплитуде пороговых уровней, то он должен воспроизводиться без искажений. Таким образом, ограничитель является нелинейным четырехполюсником, который в идеальном случае имеет идеально ломанную амплитудную характеристику $U_{\text{вых}}(t) = f[U_{\text{вх}}(t)]$. В реальных схемах ограничителей в качестве нелинейных элементов в основном применяют полупроводниковые диоды.

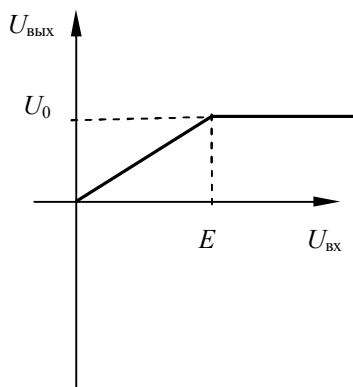


Рис. 1. Ограничение сверху.

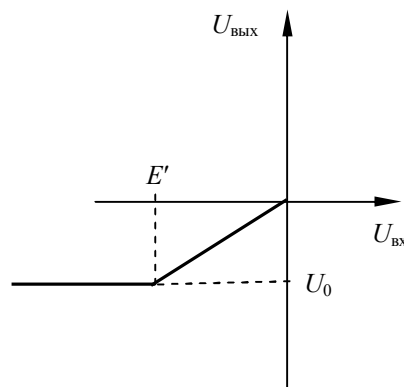


Рис. 2. Ограничение снизу.

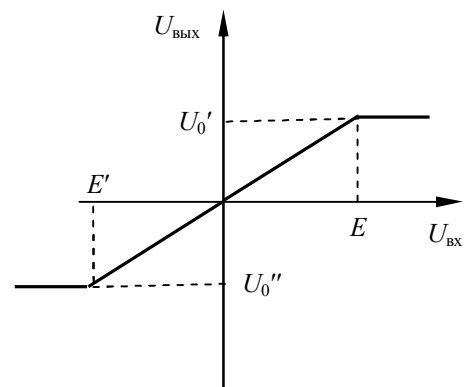


Рис. 3. Двустороннее ограничение.

Рассмотрим ограничители на полупроводниковых диодах. В зависимости от способа включения диода, различают последовательные (рис. 4 а, б) и параллельные (рис. 5 а, б) схемы ограничения электрических сигналов.

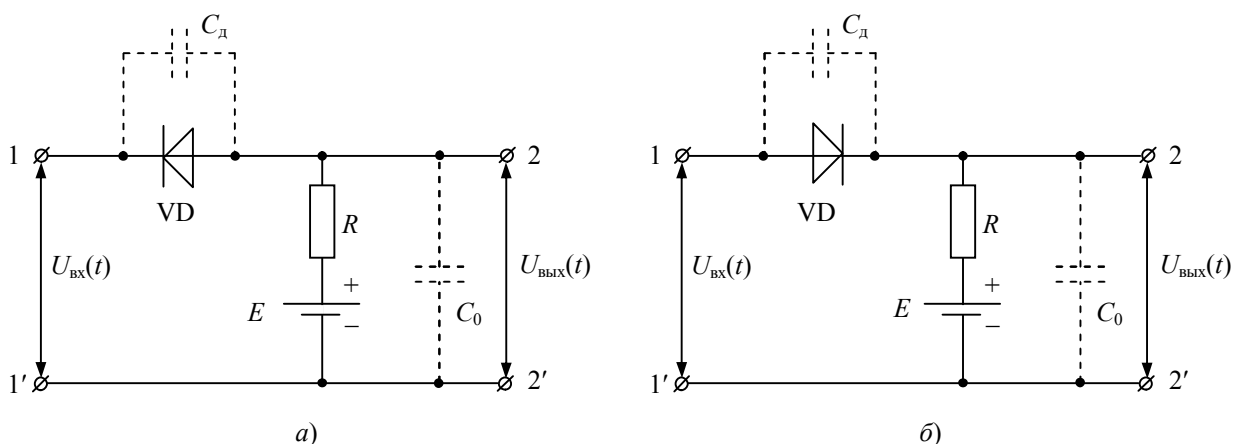


Рис. 4. Последовательные диодные ограничители.

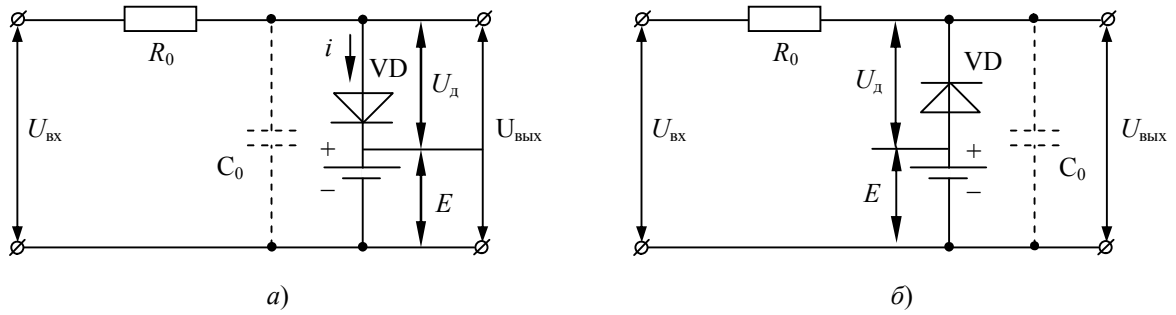


Рис. 5. Параллельные диодные ограничители.

На рис. 6 *a, б* приведены временные диаграммы напряжений для схем рис. 4 *a, б*, а на рис. 7 *a, б* временные диаграммы напряжений для схем рис. 5 *a, б*.

Рассмотрим работу схемы последовательного диодного ограничителя (рис. 4 *a*). Когда напряжение на аноде диода отрицательно, диод заперт и выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}(t) \approx E$ (рис. 6 *a*), так как обратное сопротивление диода R_{VD} значительно больше сопротивления нагрузки R . При обратной полярности напряжения на входе ограничителя диод открыт и при условии, что прямое сопротивление диода $R_{\text{VD}} \ll R$, напряжение на выходе равно входному. Следовательно,

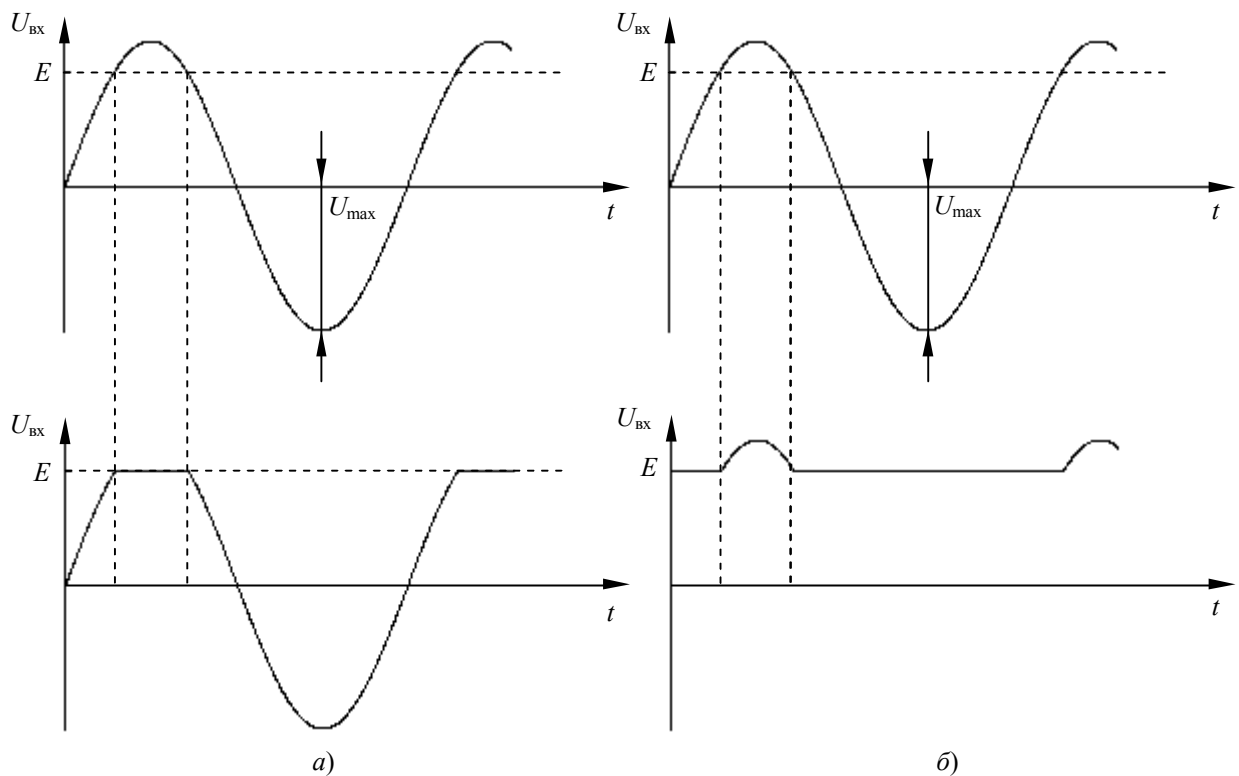


Рис. 6. Временные диаграммы работы последовательных диодных ограничителей.

порог ограничения сигнала определен равенством нулю напряжения на диоде.

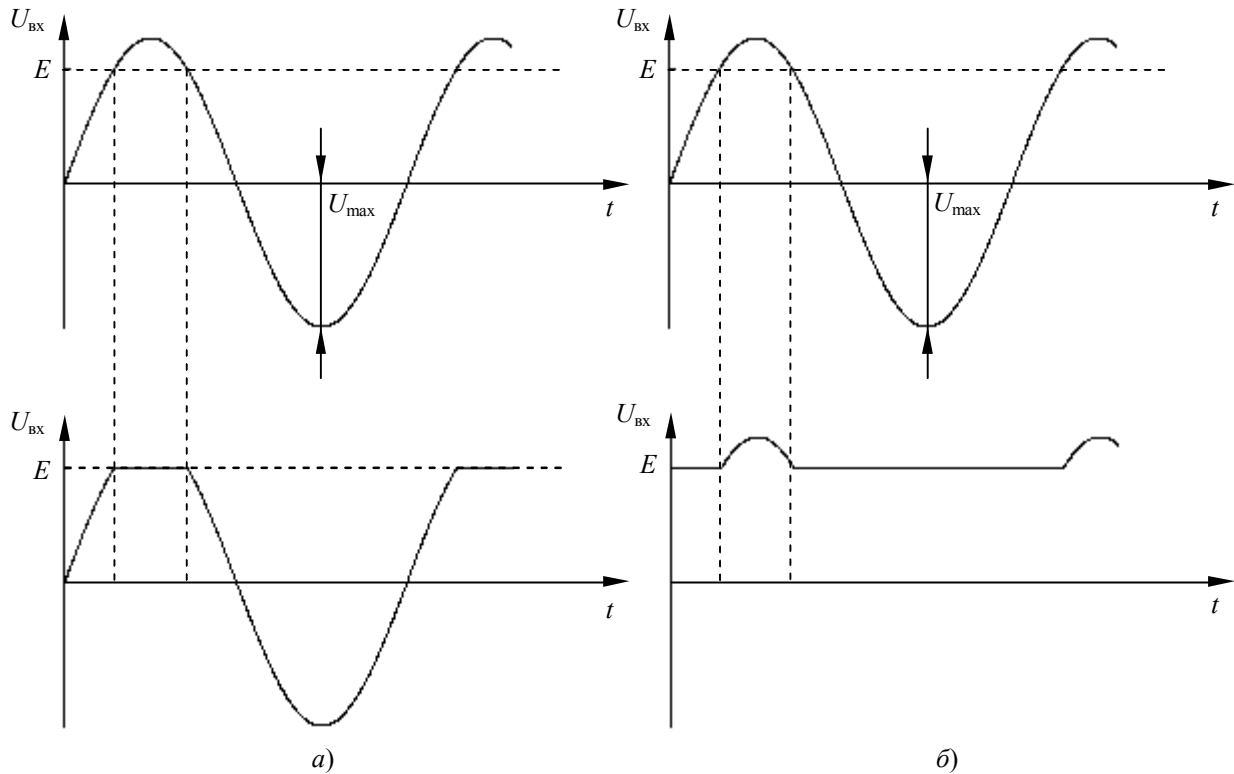


Рис. 6. Временные диаграммы работы параллельных диодных ограничителей.

Если изменить значение и полярность напряжения источника постоянного напряжения E , то можно в довольно широких пределах изменять уровень ограничения. Положим, что прямое сопротивление диода R_{VD} мало зависит от температуры окружающей среды и постоянно, тогда для последовательного ограничителя справедливо следующее равенство:

$$U_{\text{вых}} = \frac{R \cdot U_{\text{вх}}}{R_{VD} + R} + \frac{R_{VD} \cdot E}{R_{VD} + R} = \frac{R \cdot U_{\text{вх}} + R_{VD} \cdot E}{R_{VD} + R} \quad (1)$$

Чем строже выполняется неравенство $R_{VD} \ll R$, тем точнее напряжение на выходе повторяет входное напряжение. Ограничением в выборе R является появление при высоких частотах паразитной емкости на выходе схемы (точки 2-2') емкости диода C_d и, как следствие, искажение формы импульса. Паразитные емкости (возможность их существования) показаны на рис. 4, 5 пунктиром. Диод выбирают, исходя из требований к обратному напряжению, значениям прямого тока и емкости C_d .

Рассмотрим работу схемы параллельного диодного ограничителя (рис. 5 а). При открытом диоде выходное напряжение $U_{\text{вых}}(t)$ мало отличается от E , если выполняется условие $R_{VD} \ll R_0$, где R_0 - сопротивление, ограничивающее ток в цепи при открытом диоде. Для этой схемы справедливо следующее выражение:

$$U_{\text{вых}} = E + i \cdot R_{VD} = E + \frac{U_{\text{вх}} \cdot R_{VD} - E \cdot R_{VD}}{R_0 + R_{VD}} \approx E + \frac{R_{VD}}{R_0} (U_{\text{вх}} - E) \quad (2)$$

При $R_{VD}/R_0 \ll 1$ можно считать, что напряжение на выходе $U_{\text{вых}} = E$.

При запертом диоде выходное напряжение почти повторяет входное, так как и в последовательной схеме, уровень ограничения в параллельном диодном ограничителе определяется напряжением E .

В параллельных ограничителях, схемы которых подобны представленным на рис. 5 также появляются паразитные емкости C_0 (пунктир на рисунке), особенно на высоких частотах. Поэтому для сокращения длительности фронта импульса следует значение ограничивающего сопротивления R_0 выбирать не слишком большим.

Отметим, что параллельный ограничитель на диоде обеспечивает худшую по сравнению с последовательным ограничителем четкость ограничителя, так как в параллельной схеме четкость ограничения определяется отношением $R_{VD}/R_0 \ll 1$ а в последовательной- $R_{обр} \gg R$ реализуется на практике легче, чем $R_{VD} \ll R_0$. К недостаткам параллельных ограничителей относится и то, что в этом случае источник E должен иметь малое собственное внутренне сопротивление.

Схема рис. 4 тоже имеет недостаток: на высоких частотах и при крутых перепадах напряжения емкость $p-n$ перехода создает в режиме ограничения (диод заперт) паразитную связь между входом и выходом.

Двустороннее ограничение напряжения рассмотрим на примере применения операционного усилителя в качестве активного ограничивающего прибора. Схемное решение приведено на рис. 7, а временные диаграммы- на рис. 8. Ограничение напряжения происходит следующим образом: до тех пор, пока выходное напряжение по абсолютному значению не превысит сумму напряжения стабилизации $U_{ст}$ одного из стабилитронов, например VD2 (на временной диаграмме $U_{ст2}$) и прямого падения напряжения на другом стабилитроне VD1 ($U_{пр1}$), устройство работает как обычный инвертирующий усилитель с коэффициентом усиления по входу, равным отношению R_2/R_1 . Если же наступает момент, когда будет выполняться неравенство $U_{вых}(t) > U_{ст2} + U_{пр1}$, то стабилитрон VD2 пробьется и напряжение будет ограничено на уровне $U_{ст2}$ и $U_{пр1}$.

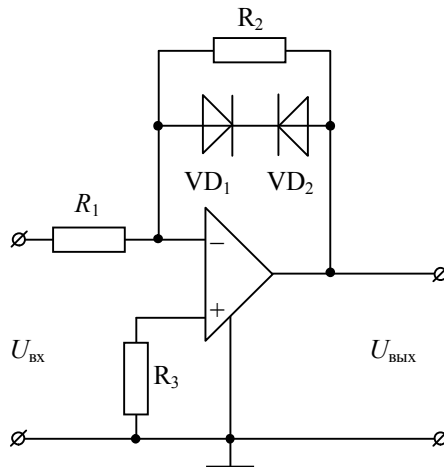


Рис. 7. Двухсторонний ограничитель на операционном усилителе.

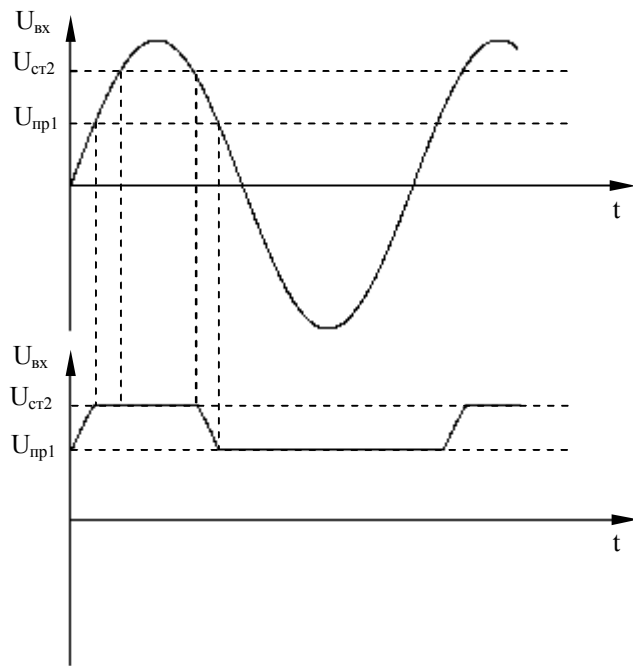
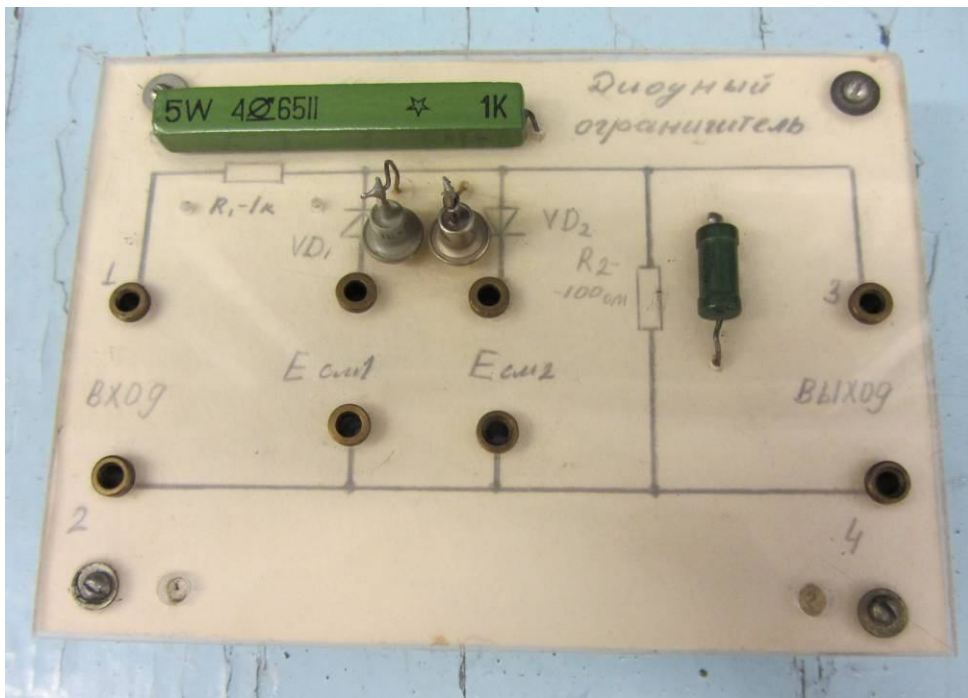


Рис. 8. Временная диаграмма работы двухстороннего ограничителя.

ОБОРУДОВАНИЕ

Панель для изучения параллельного диодного ограничителя.



Генератор



Двухлучевой осциллограф



Блок питания



Соединительные провода

ХОД РАБОТЫ

1. Снять зависимость напряжения на выходе диодного ограничителя (рис. 5) $U_{\text{вых}}$ от напряжения на входе $U_{\text{вх}}$ ($U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$), для этого на вход диодного ограничителя подать синусоидальный сигнал с генератора частотой 1000 Гц. Входной и выходной сигналы измерять осциллографом (входное напряжение менять от 0 до 10 В).
2. Построить график зависимости $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$.
3. Подав на диодный ограничитель напряжение смещения от блока питания БП-2, снять зависимость $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$, построить график зависимости.