

ВЫПРЯМИТЕЛИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

4.1. ВЫПРЯМИТЕЛИ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ

Выпрямители среднего значения дают на выходе напряжение, постоянная составляющая которого пропорциональна среднему значению выпрямленного входного напряжения. Работа подобных выпрямителей, как правило, основывается на том, что при одной полярности входное напряжение с некоторым масштабным коэффициентом подается на выход, а при другом — выходное напряжение поддерживается равным нулю (однополупериодный выпрямитель) или инвертированному входному напряжению (двухполупериодный выпрямитель). В последнем случае, если обеспечено равенство масштабных коэффициентов для прямого и инвертированного входных сигналов, то устройство может применяться также в качестве формирователя модуля входного сигнала: выходное напряжение оказывается пропорциональным абсолютному значению входного. Использование ОУ в точных выпрямителях преследует цель уменьшить погрешности преобразования, обусловленные неидеальными вольт-амперными характеристиками диодов.

На рис. 4.1 показаны схемы простых выпрямителей среднего значения напряжения. Выпрямитель по схеме рис. 4.1, *а* построен на основе инвертирующего усилителя, содержащего диоды в цепи обратной связи. При положительной полярности входного сигнала открыт диод $D1$ и обратная связь замыкается через резистор $R2$. При отрицательной полярности $U_{вх}$ ток обратной связи течет через диод $D2$ и резистор $R3$. Таким образом, при синусоидальном входном сигнале на зажимах $U_{вых1}$ будут присутствовать положительные полуволны напряжения, а на зажимах $U_{вых2}$ — отрицательные, соответствующие однополупериодному выпрямлению входного сигнала. Поскольку открытый диод входит в прямую цепь замкнутого контура, то падение напряжения на нем практически не сказывается на выходном напряжении. Поэтому при $U_{вх} > 0$ получаем $U_{вых} = 0$, $U_{вых2} =$

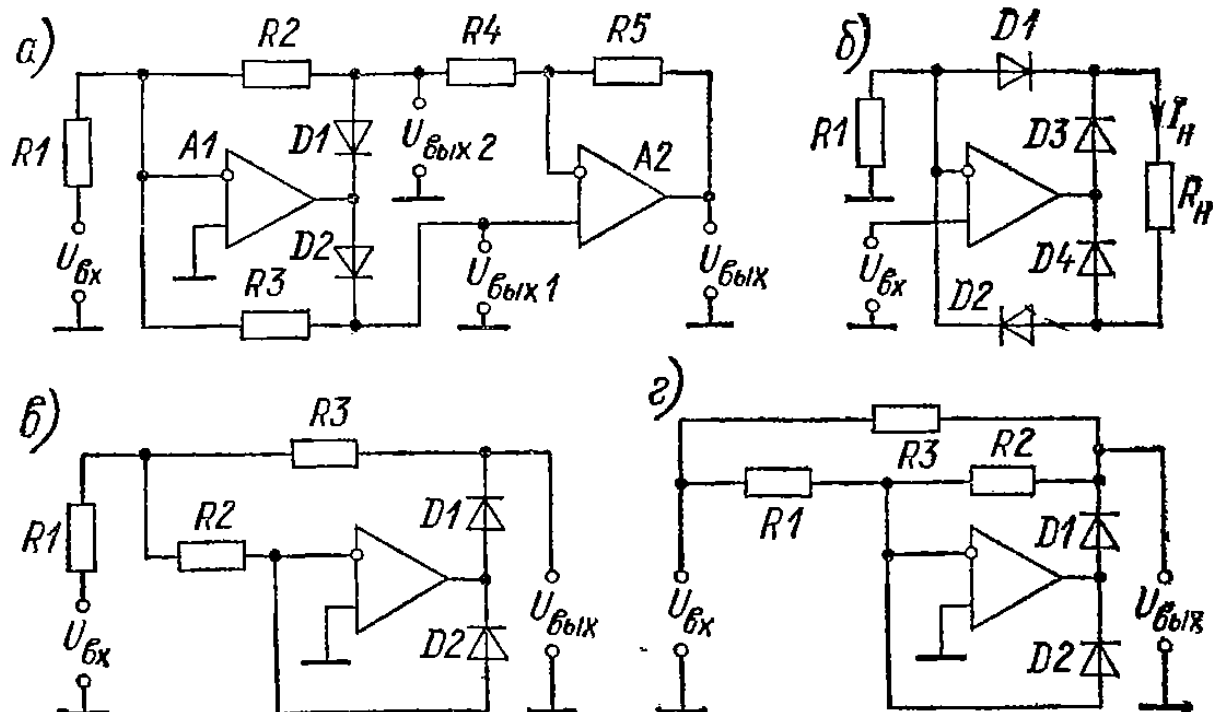


Рис. 4.1. Схемы активных выпрямителей среднего значения напряжения

$= -U_{вх} R_2 / R_1$, а при $U_{вх} < 0$ и $R_4 = \infty$ соответственно $U_{вых1} = U_{вх} R_3 / R_1$ и $U_{вых2} = 0$.

При присоединении нагрузки к выходам $U_{вых1}$ и $U_{вых2}$ нужно учитывать непостоянство выходного сопротивления выпрямителя. Когда открыт диод, присоединенный к данному выходному зажиму, то выходное сопротивление устройства близко к нулю. Когда же диод закрыт, то выходное сопротивление становится равным сопротивлению R_2 для $U_{вых2}$ или R_3 для $U_{вых1}$. Если к такому выходу присоединить усредняющий фильтр, имеющий заметную реактивную составляющую входного сопротивления, то непостоянство выходного сопротивления выпрямителя приведет к изменению среднего значения его выходного напряжения.

Дополнение выпрямителя операционным усилителем $A2$, как показано на рис. 4.1, а, дает возможность получить двухполупериодное выпрямление и постоянное, близкое к нулю, выходное сопротивление. Если открыт диод $D1$ ($U_{вх} > 0$), то справедливо равенство $U_{вых} = -U_{вых2} R_5 / R_4 = U_{вх} R_2 R_5 / (R_1 R_4)$. Если же открыт диод $D2$ ($U_{вх} < 0$), то $U_{вых} = -U_{вх} (R_3 / R_1) (R_2 + R_4 + R_5) : (R_2 + R_3 + R_4)$. Принимая $R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R$, получим

$$U_{вых} = |U_{вх}| R / R_1.$$

Выпрямитель, схема которого показана на рис. 4.1, б,

осуществляет двухполупериодное выпрямление, но его нагрузка не заземлена. В обратную связь ОУ здесь включен диодный мост $D1—D4$ и сопротивление нагрузки R_H . При любой полярности $U_{вх}$ ток I_H через нагрузку проходит в одном направлении и равен $I_H = |U_{вх}|/R_H$. Таким образом, ток I_H не зависит от сопротивления нагрузки R_H . Данный выпрямитель удобно применять при построении стрелочного вольтметра переменного напряжения. В этом случае в качестве нагрузки R_H используется магнитоэлектрический микроамперметр.

Схемы рис. 4.1, в и г иллюстрируют построение двухполупериодных выпрямителей с заземленной нагрузкой на одном ОУ. Для схемы рис. 4.1, в при $U_{вх} < 0$ справедливо $U_{вых} = -U_{вх}R_3/R_1$, выходное сопротивление $R_{вых} \approx 0$. Если же $U_{вх} > 0$, то $U_{вых} = U_{вх}R_2/(R_1+R_2)$, $R_{вых} = R_3 + R_1R_2/(R_1+R_2)$. Для схемы рис. 4.1, г при $U_{вх} < 0$ получим $U_{вых} = -U_{вх}R_2/R_1$, $R_{вых} \approx 0$, а при $U_{вх} > 0$ $U_{вых} = U_{вх}R_2/(R_2+R_3)$, $R_{вых} = R_2R_3/(R_2+R_3)$. Если принять для схемы рис. 4.1, в $R_1 = R_2 = 2R_3$, а для схемы рис. 4.1, г $2R_1 = R_2 = R_3$, то в обоих случаях получим $U_{вых} = 0,5|U_{вх}|$. Однако следует иметь в виду, что выходное сопротивление этих выпрямителей изменяется в зависимости от полярности входного сигнала.

Двухполупериодные выпрямители, показанные на рис. 4.2, имеют при любом знаке входного сигнала близкое к нулю выходное сопротивление.

Достоинством выпрямителя по схеме рис. 4.2, а является то, что для его построения достаточно всего лишь

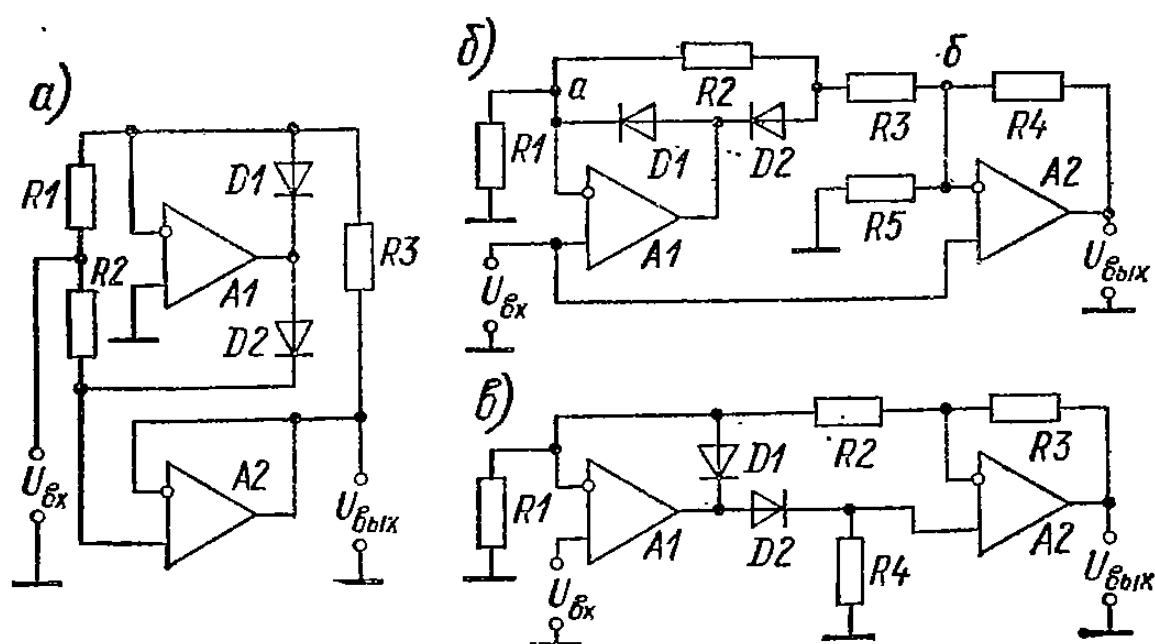


Рис. 4.2. Варианты схем двухполупериодных активных выпрямителей среднего значения

двух точных резисторов. Когда входное напряжение положительно, оно через резистор R_2 проходит на вход повторителя, выполненного на ОУ A_2 , и таким образом получаем $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}$. Диод D_2 при этом закрыт, и напряжение с выхода ОУ A_1 никак не влияет на состояние ОУ A_2 . При отрицательном входном напряжении диод D_2 открывается и повторитель на ОУ A_2 оказывается подключенным к выходу ОУ A_1 . Обратная связь в этом случае замыкается через резистор R_3 , и выходное напряжение равно $-U_{\text{вх}}R_3/R_1$. Если $R_3 = R_1$, то в целом для рассматриваемого выпрямителя получим $U_{\text{вых}} = |U_{\text{вх}}|$.

В выпрямителе по схеме рис. 4.2, б входное напряжение повторяется на инвертирующих входах A_1 и A_2 . При положительном $U_{\text{вх}}$ диод D_2 закрыт и резисторы R_2 и R_3 , включенные между эквипотенциальными в этом режиме точками a и b , в работе не участвуют. В результате $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}(1 + R_4/R_5)$. Отрицательное же входное напряжение непосредственно присутствует на Н-входе A_2 и, усиленное в $(1 + R_2/R_1)$ раз, через резистор R_3 подается на И-вход этого ОУ. Соответственно $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}(1 + R_4/R_3 + R_4/R_5) - U_{\text{вх}}(1 + R_2/R_1)R_4/R_3$.

Если принять $R_2R_4/(R_1R_3) = 2(1 + R_4/R_5)$, то $U_{\text{вых}} = |U_{\text{вх}}|(1 + R_4/R_5)$. В частности, при $R_5 = \infty$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4/2$ получим $U_{\text{вых}} = |U_{\text{вх}}|$.

В выпрямителе по схеме рис. 4.2, в при $U_{\text{вх}} > 0$ сигнал проходит на выход через усилитель A_1 , диод D_2 , усилитель A_2 , а обратная связь замыкается через резисторы R_3 и R_2 . При этом очевидно, что $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}(R_1 + R_2 + R_3)/R_1$. Если же $U_{\text{вх}} < 0$, то открывается диод D_1 , диод D_2 закрыт и выходное напряжение формируется в результате усиления инвертирующим усилителем на основе A_2 напряжения, поступающего с выхода повторителя на основе A_1 . В результате $U_{\text{вых}} = -U_{\text{вх}}R_3/R_2$. Постоянство модуля коэффициента передачи будет достигаться при $1 + R_2/R_1 + R_3/R_1 = R_3/R_2$. В частности, если $R_1 = \infty$ и $R_3 = R_2$, то $U_{\text{вых}} = |U_{\text{вх}}|$.

В заключение заметим, что полное и систематизированное описание различных схем точных выпрямителей приведено в [9].