

8. Фазочувствительный выпрямитель на базе операционного усилителя с постоянным входным сопротивлением. (17.2)

Фазочувствительные выпрямители (ФЧВ) находят широкое применение в системах управления, например, в системах автоподстройки частоты, в автопилотах, а также в других системах, работающих в условиях высокого уровня помех.

Рассмотрим наиболее простую схему ФЧВ, показанную на рис. 10.37, а. ФЧВ выполнен на одном ОУ, в качестве источника опорной частоты использован генератор синусоидальных колебаний $U_{оп}$, на выходе которого включено электромеханическое ключевое устройство К с порогом срабатывания 0,1 В. Низкий порог срабатывания при сравнительно большой амплитуде входного сигнала обеспечивает замыкание и размыкание контакта практически при прохождении входного сигнала через нуль. Осциллограммы сигналов при указанных на схеме параметрах генераторов показаны на рис. 10.37, б.

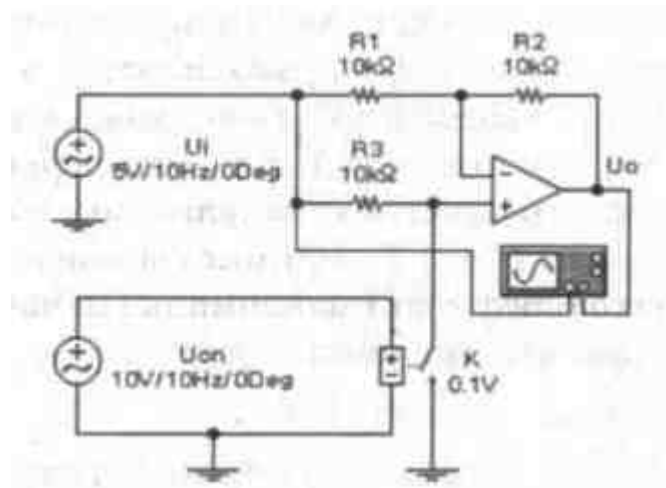
Как видно из рис. 10.37, б, выходное напряжение состоит из отрицательных полувольт входного синусоидального сигнала. Формирование выходного сигнала происходит следующим образом (для простоты рассуждений будем манипулировать амплитудным значением U_m входного сигнала U_i). При положительной полувольтне U_i ключ К замкнут и ОУ работает в режиме инвертирующего усилителя, при этом его выходной сигнал $U_o = -U_m R_2 / R_1 = -U_m$.

При отрицательной полувольтне U_i ключ К разомкнут, при этом ОУ работает в режиме дифференциального усилителя, однако при различных коэффициентах передачи по инвертирующему и неинвертирующему входам. Выходное напряжение от инвертирующего и неинвертирующего входов будет определяться соответственно

выражениями:

$$U_+ = U_m R_2 / R_1 = U_m \text{ и } U_- = -U_m (1 + R_2 / R_1) = -2U_m,$$

т.е. суммарный выходной сигнал при отрицательной полувольтне будет также равен $-U_m$ что соответствует приведенным на рис. 10.37, б осциллограммам.



Последующие устройства, присоединенные к выходным зажимам амплитудного выпрямителя по схеме рис. 4.3, а, должны иметь достаточно большое входное сопротивление, чтобы конденсатор C не успевал заметно разряжаться на протяжении периода входного сигнала. Если обозначить символом R_n сопротивление нагрузки выпрямителя, то коэффициент пульсаций на выходе выпрямителя, вызванных упомянутым разрядом, будет приближенно равен $1/(2\pi fCR_n)$, где f — частота входного сигнала.

Амплитудный выпрямитель, схема которого показана на рис. 4.3, б, имеет низкое выходное сопротивление благодаря повторителю, выполненному на ОУ А2. Кроме того, в этот выпрямитель введены цепочка $D2, R1$, исключающая перегрузку усилителя по входу при отрицательном входном сигнале, и цепочка $D3, R2$, препятствующая разряду конденсатора C обратным током диода $D1$. Резистор $R2$ обеспечивает в данном случае эквипотенциальность зажимов диода $D1$ при отрицательном входном сигнале.

В амплитудных выпрямителях необходимо предусматривать цепи, производящие периодический разряд запоминающего конденсатора, чтобы затем обновлять информацию об амплитуде входного напряжения.

Анализ погрешностей активных амплитудных выпрямителей можно найти в [9].

4.3. ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Фазочувствительные выпрямители имеют два входа: сигнальный и управляющий (коммутирующий). Если на сигнальный вход подано гармоническое переменное напряжение $U_{вх}$, а на управляющий — напряжение той же частоты U_y , то напряжение на выходе выпрямителя определяется соотношением

$$U_{в\text{ых}} = a |U_{вх}| \cos \varphi,$$

где a — постоянный коэффициент, φ — фазовый сдвиг между напряжениями $U_{вх}$ и U_y . Подобные выпрямители достаточно просто реализуются на бесконтактных аналоговых ключах, выполненных на основе МОП-транзисторов. Операционные усилители в таких выпрямителях дают возможность уменьшить число ключей, повысить входное и уменьшить выходное сопротивления, усилить выпрямляемый сигнал.

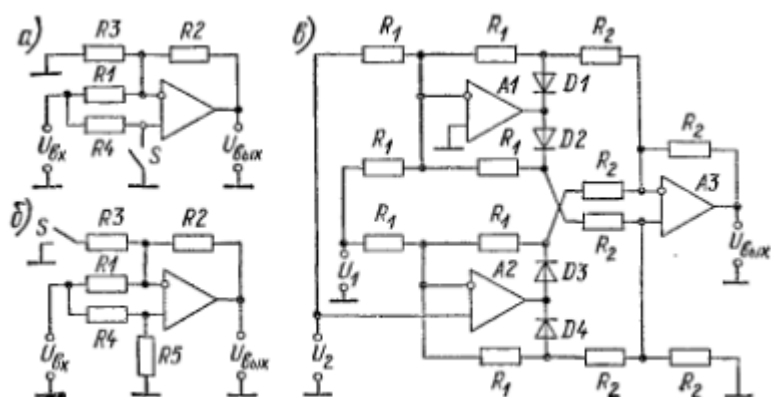


Рис. 4.4. Схемы фазочувствительных выпрямителей

Примеры схем фазочувствительных выпрямителей приведены на рис. 4.4. Схемы рис. 4.4, а и б иллюстрируют построение двухполупериодного выпрямителя с одним аналоговым ключом.

Будем считать, что в выпрямителе по схеме рис. 4.4, а $R_1=R$, $R_2=\alpha R$, $R_3=\beta R$. Когда ключ S замкнут, выходное напряжение выпрямителя определяется равенством $U_{\text{вых}} = -\alpha U_{\text{вх}}$. Если же ключ разомкнут, то $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}(-\alpha + 1 + \alpha + \alpha/\beta)$. Для того чтобы коэффициенты передачи при замкнутом и разомкнутом ключе были одинаковы по модулю и различны по знаку, нужно, чтобы выполнялось равенство $1 + \alpha/\beta = \alpha$. Таким образом, задавая требуемым коэффициентом усиления выпрямителя $a = \alpha$, мы можем найти $R_2 = \alpha R_1$ и $R_3 = \alpha R_1 / (\alpha - 1)$. В частности, если $\alpha = 1$, то $R_2 = R_1$, а резистор R_3 не нужен ($R_3 = \infty$).

В рассмотренном выпрямителе (рис. 4.4, а) входное сопротивление изменяется в зависимости от того, замкнут ключ или разомкнут. В этом смысле более совершенным является выпрямитель по схеме рис. 4.4, б: его входное сопротивление не зависит от состояния ключа. Если принять $R_1 = R_4 = R$, $R_2 = \alpha R$, $R_3 = \beta R$, $R_5 = \gamma R$, то условие равенства модулей коэффициента передачи при разных состояниях ключа для этого выпрямителя имеет вид $1 + 2\beta/\alpha = 2\beta/\gamma$. Задавая значением γ и коэффициентом передачи выпрямителя a , можно найти коэффициенты α и β .

$$\alpha = a + \gamma(a + 1), \quad \beta = (\gamma/2)(\gamma + 1 + \gamma/a)/(\gamma + 1).$$

В частности, если $a = 0,5$ и $\gamma = 1$, то $\alpha = 2$ и $\beta = 1$, т. е. $R_1 = R_3 = R_4 = R_5 = R$; $R_2 = 2R$.

Интересная схема фазочувствительного выпрямителя показана на рис. 4.4, в [12]. Этот выпрямитель реализует соотношение

$$U_{\text{вых}} = |U_1 + U_2| - |U_1 - U_2|.$$

Анализируя это соотношение, нетрудно увидеть, что в данном случае большее из входных напряжений проявляет себя как управляющее: от него зависит только знак выходного напряжения $U_{\text{вых}}$. Модуль же $U_{\text{вых}}$ определяется меньшим входным напряжением. Поскольку выходное сопротивление входящих в рассматриваемое устройство выпрямителей на основе ОУ $A1$ и $A2$ (рис. 4.4, в) непостоянно, то желательно, чтобы входное сопротивление дифференциального усилителя на основе ОУ $A3$ было достаточно большим. Иначе говоря, целесообразно устанавливать $R_2 \gg R_1$.

Фазочувствительные выпрямители находят применение в качестве демодуляторов при фазовой модуляции сигнала, а также при амплитудной модуляции, подобной той, которая применяется в усилителях МДМ. Кроме демодуляции эти устройства могут решать также задачу модуляции. Если на их вход $U_{\text{вх}}$ подать медленно изменяющееся напряжение, то на выходе получим переменное напряжение, амплитуда которого будет определяться входным $U_{\text{вх}}$, а частота — управляющим U_{γ} сигналом.