

УДК 621.317.757

УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Данильчук В.В., Кулинка Е.Г.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

В общем случае обратную связь (ОС) можно определить как связь выходной цепи усилителя с его входной цепью. Она образуется тогда, когда усиленный сигнал с выхода отдельного каскада усилителя или усилителя в целом передается на его вход через цепи, дополнительно вводимые для этого (внешняя ОС) или уже имеющиеся в нем для выполнения других функций (внутренняя ОС). К последним, например, относятся общая цепь источника питания усилителя, межэлектродные емкости в электронных приборах.

Часть усиленного внешнего сигнала с выхода усилителя (прямая цепь передачи сигналов) поступает по цепи ОС на его вход и складывается там с внешним сигналом. При таком сложении амплитуд сигналов (внешнего и ОС) на входе усилителя возможны два принципиально отличных по конечному действию случая: либо сумма амплитуд сигналов больше амплитуды внешнего сигнала либо меньше его. В первом случае говорят о ПОС (положительной обратной связи), во втором – об ООС (отрицательной ОС). Напряжение ОС, снимаемое с выхода усилительного каскада и подаваемое на вход цепи ОС, можно получить несколькими способами в зависимости от схемы присоединения цепи ОС к выходной цепи каскада. Различают следующие способы снятия ОС: по напряжению, по току и смешанную, или комбинированную.

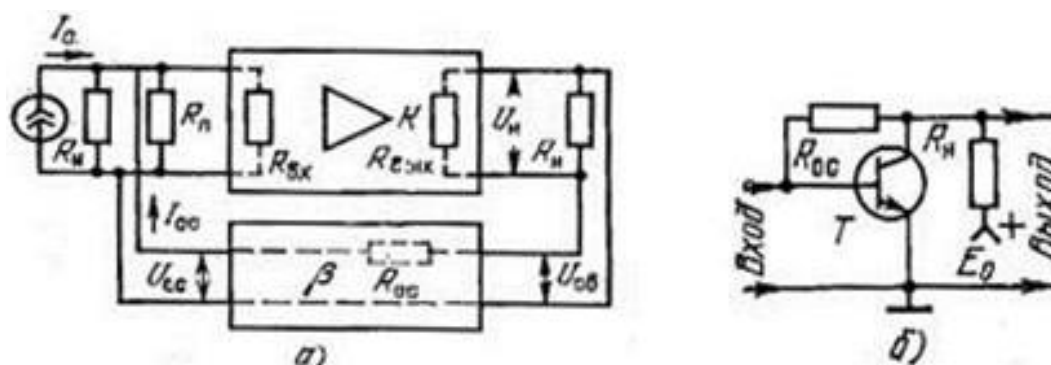


Рисунок 1. Параллельная обратная связь по напряжению

На рис. 1 – 5 показаны структурные и принципиальные схемы каскада усиления с различными способами присоединения цепи ОС. На рис. 1, а вход цепи ОС подключен параллельно сопротивлению нагрузки R_n . В этой схеме напряжение на входе цепи ОС $U_{св}$ равно выходному напряжению U_n (на нагрузке R_n) усилительного каскада. Таким образом, создается ОС по напряжению.

На рис. 2, а напряжение на вход цепи ОС $U_{св}$ поступает с резистора R_T , включенного последовательно с сопротивлением нагрузки R_n (один конец резистора R_T подключен к выводу от электрода, общего для входной и выходной цепей УУ (усилительного устройства)). Это напряжение ОС пропорционально току $I_{св}$, протекающему по R_n и R_T . Так образуется ОС по току.

Кроме рассмотренных способов получения входного напряжения ОС (со стороны выхода усилительного каскада), различают аналогичные способы введения напряжения ОС с выхода цепи ОС на вход каскада усиления: либо сложением напряжений сигналов входного U_c и на выходе цепи ОС $U_{ос}$, либо сложением токов I_c и $I_{ос}$, пропорциональных этим напряжениям, на общем входном сопротивлении каскада (см. рис. 1, а).

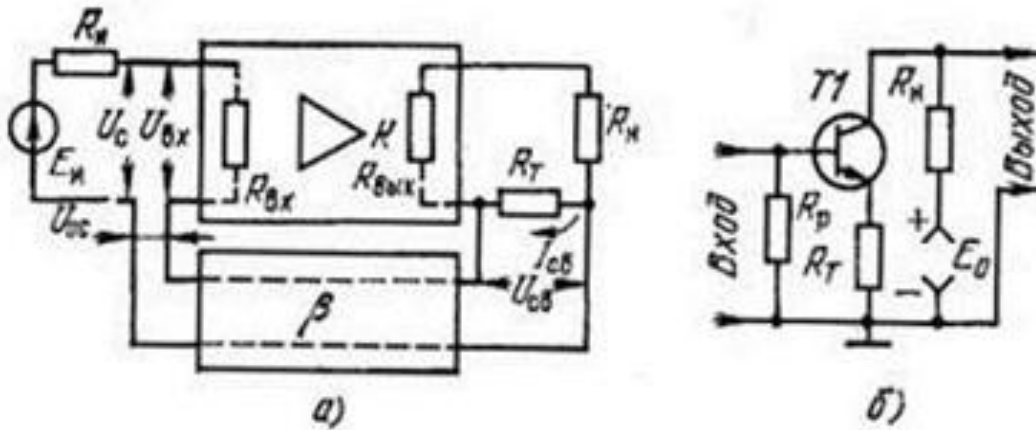


Рис. 2. Последовательная обратная связь по току

При последовательном соединении источника входного сигнала, выхода цепи ОС и входа УУ образуется последовательная ОС (рис. 2,а), а при параллельном их соединении – параллельная ОС (см. рис. 1,а). Таким образом, с точки зрения схемного построения усилителей с ОС можно различить следующие четыре простых вида ОС. Каждый из них позволяет в зависимости от различия или совпадения полярностей входного сигнала и сигнала на выходе цепи ОС получить либо ООС, либо ПОС.

Параллельная ОС по напряжению (см. рис. 1,а) образуется при параллельном соединении входа и выхода через цепь ОС. Принципиальная схема транзисторного каскада усиления с параллельной ОС по напряжению, образуемой резистором $R_{ОС}$, приведена на рис. 1,б. Для этого вида ОС характерно уменьшение ее действия с уменьшением сопротивлений нагрузки, источника сигнала, входного сопротивления УУ и полное ее прекращение при коротком замыкании выхода или входа каскада.

Последовательная ОС по току (рис. 2,а) образуется при последовательном соединении входа и выхода через цепь ОС. На рис. 5.2,б показана принципиальная схема транзисторного каскада усиления с последовательной ОС по току. Ее действие уменьшается с увеличением сопротивлений нагрузки и источника сигнала, с уменьшением сопротивления резистора R_T и входного сопротивления УУ.

Возможны и гибридные соединения цепи ОС с каскадом усиления. В первом из них вход цепи ОС подсоединен последовательно к выходу каскада, а ее выход – параллельно входной цепи каскада. Так получается параллельная ОС по току (рис. 3,а). Принципиальная схема транзисторного каскада усиления с таким видом ОС приведена на рис. 3,б. Этот вид ОС характеризуется тем, что с уменьшением сопротивлений источника сигнала, входного сопротивления УУ и увеличением сопротивления нагрузки R_n ее действие уменьшается, а при коротком замыкании на входе или холостом ходе на выходе каскада – прекращается.

Другое гибридное соединение, при котором вход цепи ОС подсоединен параллельно выходу каскада, а выход цепи ОС – последовательно к входной цепи каскада, образует последовательную ОС по напряжению (рис. 4,а). Иллюстрирующая ее принципиальная схема приведена на рис. 4,б. С увеличением сопротивления источника сигнала и уменьшением сопротивлений входного и нагрузки R_n , ее действие уменьшается, а в режиме холостого хода на входе и короткого замыкания на выходе каскада она перестает действовать.

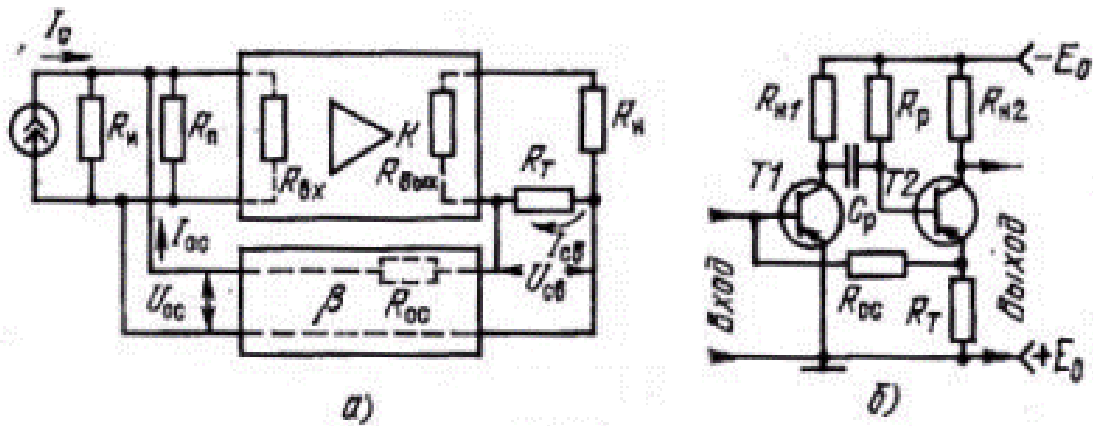


Рисунок 3. Параллельная обратная связь по току

При подключении входа цепи ОС к нагрузке R_n и резистору R_T , как это показано на рис. 5, напряжение на входе цепи ОС образуется одновременно под действием части напряжения на концах R_n , снимаемого с концов резистора R_{oc2} делителя напряжения из резисторов R_{oc1} и R_{oc2} , и тока, протекающего в цепи нагрузки и по R_T . Таким способом получается смешанная (комбинированная) ОС по выходу.

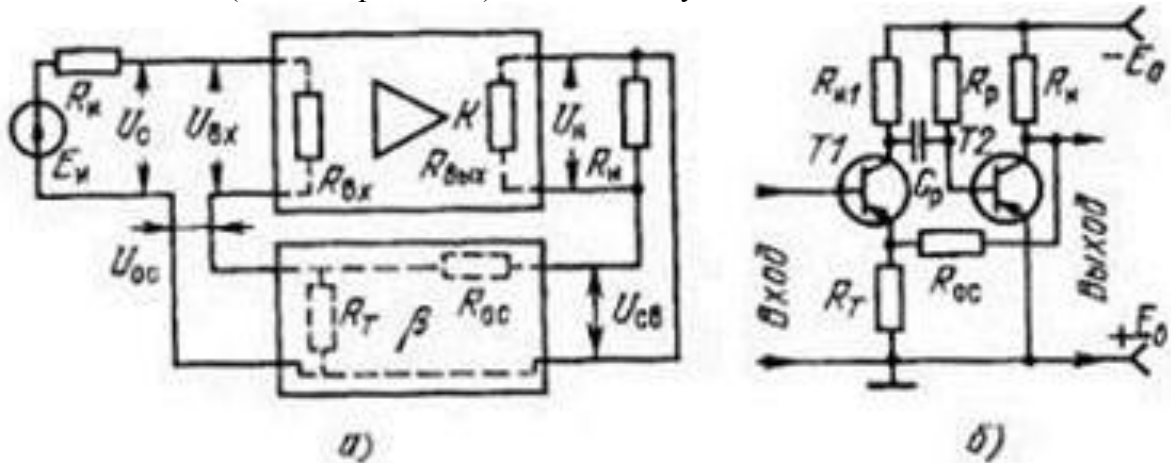


Рисунок 4. Последовательная обратная связь по напряжению

Аналогично получается комбинированная ОС по входу (рис. 5).

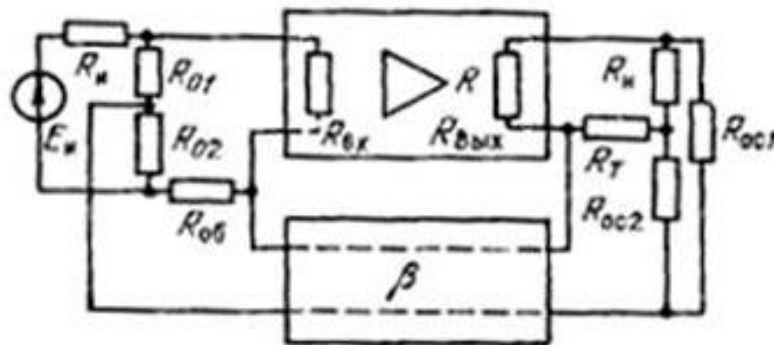


Рисунок 5. Комбинированная обратная связь

Смешанная ОС по одной из цепей (входной или выходной), а тем более по обеим цепям одновременно сравнительно редко применяется на практике. Это вызвано тем, что этот вид ОС достаточно сложен в настройке, а также и тем, что ОС по напряжению и ОС по току, одновременно входящие в этот вид ОС, изменяют свойства усилительного каскада противоположно, взаимно ослабляя действие друг друга.

В усилителях с ОС напряжение на входе усилительного каскада изменяется за счет действия цепи ОС и, следовательно, изменяется начальный (до введения ОС) коэффициент усиления. Как происходит это изменение, можно проследить на примере схемы последовательной ОС по напряжению (см. рис. 4,а) с пассивной цепью ОС.

Поданное на вход усилителя с ОС напряжение от внешнего источника сигнала E_H ослабляется в a раз, а затем усиливается в K раз и выделяется на сопротивлении нагрузки R_H . Так как цепь ОС непосредственно присоединена к выходу усилительного каскада, то напряжение на ее входе равно выходному напряжению каскада $U_{ВЫХ} = U_H$. Тогда напряжение на выходе цепи ОС:

$$U_{ОС} = \pm\beta U_{ВЫХ} \quad (1)$$

и называется напряжением ОС. Иначе говоря, выходное напряжение, измененное в β раз, возвращается обратно на вход каскада.

В зависимости от разности фаз внешнего сигнала и сигнала на выходе цепи ОС, фаза которого по отношению к внешнему сигналу может изменяться при прохождении по петле ОС, коэффициент β принимает различный знак. Так, при разности фаз, равной 0° (ПОС – положительная обратная связь) он принимает положительный знак и изменяет свое значение от 0 до +1, а при разности фаз, равной 180° (ООС – отрицательная обратная связь), знак его отрицательный и значение изменяется от 0 до -1.

Так как напряжение на входе усилительного каскада складывается из напряжения внешнего источника и напряжения ОС, в общем случае уменьшенных в a раз, то, получаем

$$U_{ВХ} = aE_u + a(\pm\beta U_{ВЫХ}),$$

откуда $aE_u = U_{ВХ} - a(\pm\beta U_{ВЫХ})$.

Подставив значение E_u в $K_{СКВ} = \frac{KU_{ВХ}}{E_u}$ и разделив числитель и знаменатель на $U_{ВХ}$, получим

$$K_{СКВ.ОС} = \frac{a}{1 - (\pm\beta a U_{ВЫХ})/U_{ВХ}} \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}}.$$

Тогда в окончательном виде выражение для сквозного коэффициента усиления каскада с ОС

$$K_{СКВ.ОС} = \frac{K_{СКВ}}{1 - (\pm\beta K_{СКВ})} \quad (2)$$

Знак при произведении $\beta K_{СКВ}$, называемом коэффициентом петлевого усиления, совпадает со знаком, соответствующим положительной или отрицательной ОС. Поэтому выражение (2) перепишем в виде для ПОС

$$K_{СКВ.ОС} = \frac{K_{СКВ}}{1 - \beta K_{СКВ}}, \quad (3)$$

для ООС

$$K_{СКВ.ОС} = \frac{K_{СКВ}}{1 + \beta K_{СКВ}} = \frac{K_{СКВ}}{F_{СКВ}}. \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) определяют изменение усиления от введения ОС и зависимость свойств усилителя от параметров цепи ОС. Они являются основными для расчета усилителей с любым видом ОС (в зависимости от способа введения и снятия ОС изменяется только формула определения коэффициента ОС). Знаменатель выражения (4)

$F_{СКВ} = 1 + \beta K_{СКВ}$ показывает, на сколько изменяется сквозной коэффициент усиления каскада при введении ОС, и называется глубиной ОС. От его абсолютного значения, как это будет показано далее, существенно зависят все основные параметры усилителя, изменяясь пропорционально ему. При расчетах обычно задаются первоначальным значением $F_{СКВ}$ от 2

до 4. При $F_{СКВ} < 2$ ОС сравнительно мало влияет на свойства усилителя, а при $F_{СКВ} > 4$ значительно уменьшается первоначальный коэффициент усиления.

Так как для усилителей на ПТ $K_{СКВ} = K$, то соотношение (5.3) и (5.4) соответственно принимают вид

$$K_{ОС} = \frac{K}{1 - \beta K} \quad (5)$$

и

$$K_{ОС} = \frac{K}{1 + \beta K} = \frac{K}{F}, \quad (6)$$

где $K_{ОС}$ – коэффициент усиления каскада на ПТ с ОС; F – глубина ОС.

Литература

1. http://life-prog.ru/1_38998_obratnaya-svyaz-v-usilitelyah-klassifikatsiya-osn-sootnosheniya.html
2. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника (2000)