

Структурная схема усилительного тракта с однопетлевой ОС

Рассмотрим линейную систему произвольной физической природы. Будем считать, что составные блоки системы описываются в частотной области своими комплексными передаточными функциями и обладают свойством однонаправленной передачи. Организуем передачу части сигнала с выхода системы на ее вход, как показано на рис. 1а.

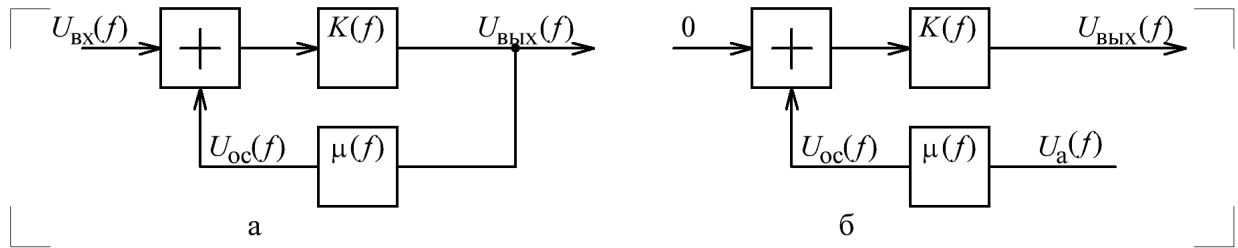


Рис. 1

Такая система называется системой с обратной связью, и как видно из рис. 1а входной сигнал суммируется с сигналом обратной связи, являющимся частью выходного сигнала.

Передаточные свойства такой системы определяются коэффициентом передачи по петле обратной связи, вычисляемым в результате разрыва петли при отсутствии сигнала на входе (рис. 1б)

$$T(jf) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(jf)}{U_{\text{а}}(jf)} = \mu(jf) K(jf) \quad .$$

Учитывая, что выходной сигнал формируется в результате суммирования 2 составляющих, получаем

$$U_{\text{ВЫХ}}(jf) = K(jf)U_{\text{ВХ}}(jf) + \mu(jf)K(jf)U_{\text{ВЫХ}}(jf)$$

или

$$K_F(jf) = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(jf)}{U_{\text{ВХ}}(jf)} = \frac{K(jf)}{1 - \mu(jf)K(jf)} = \frac{K(jf)}{1 - T(jf)} \quad .$$

Знаменатель $F(jf) = 1 - T(jf)$ называется глубиной обратной связи.

На фиксированной частоте коэффициенты передачи являются комплексными числами, и определяют изменения амплитуды и фазы сигнала на этой частоте (рис. 2а). Если на определенной частоте входной сигнал и сигнал обратной связи синфазны, то обратная связь называется положительной, если противофазны, – то отрицательной.

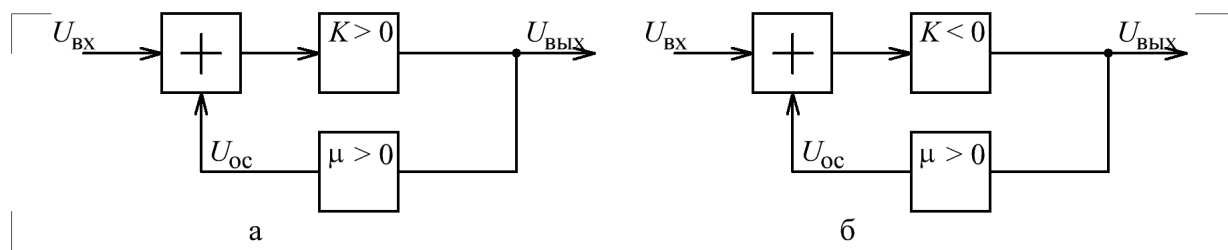


Рис. 2

При положительной обратной связи и коэффициенте петлевой передачи больше 1 возникают условия самовозбуждения колебаний, что используется при построении автогенераторов. В усилительных устройствах чаще используется отрицательная обратная связь, которая проще всего реализуется включением инвертирующего усилительного звена (рис. 2б).

Выделив инверсию фазы сигнала в отдельное звено, а затем, объединив эту операцию с операцией суммирования, приходим к структурным схемам, изображенным на рис. 3, где вычитающее устройство можно рассматривать как дискриминатор или датчик рассогласования входного сигнала и сигнала обратной связи.

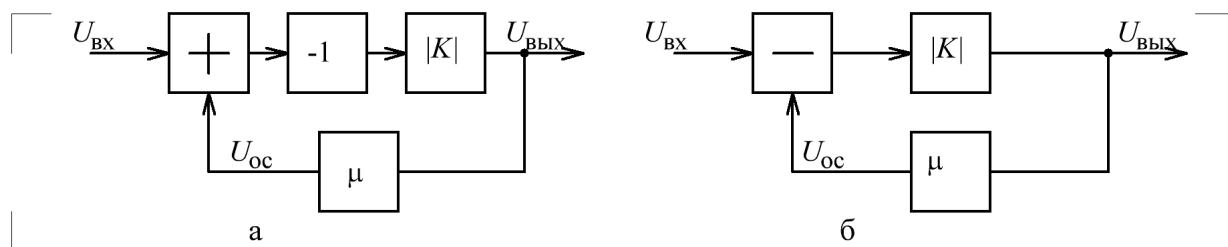


Рис. 3

В такой трактовке отрицательная обратная связь используется в следящих системах, обеспечивающих за счет действия обратной связи слежение за изменениями входного сигнала.

Различие между последними схемами заключается в том, что в первом случае инверсия фазы сигнала включена в основной тракт передачи сигнала, а во втором случае – только в цепь обратной связи.

Изложенные принципы можно применить и к сигналам электрической природы с учетом особенностей преобразования сигналов электрическими цепями.

В линейном режиме работы усилительный тракт можно представить в виде 4-полюсника, состоящего из управляемого источника тока или напряжения, а также входных и выходных сопротивлений (рис. 4).

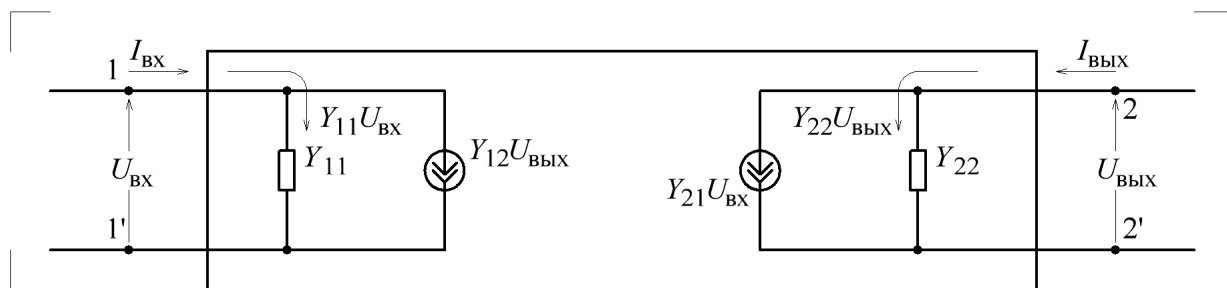


Рис. 4

Такое представление отражает тот факт, что в низкочастотной области рабочих частот усилитель обладает однонаправленной передачей мощности в направлении от источника сигнала (зажимы 1-1') к нагрузке (зажимы 2-2'). Однако передачу сигнала в направлении обратном основному можно организовать специальными схемотехническими мерами. Процесс передачи мощности сигнала с выхода на вход называется обратной связью (ОС) и организуется с помощью цепи обратной связи.

Представляя усилитель и цепь ОС 4-полюсниками, структурную схему усилительного тракта, охваченного обратной связью, можно представить, как показано на рис. 5.

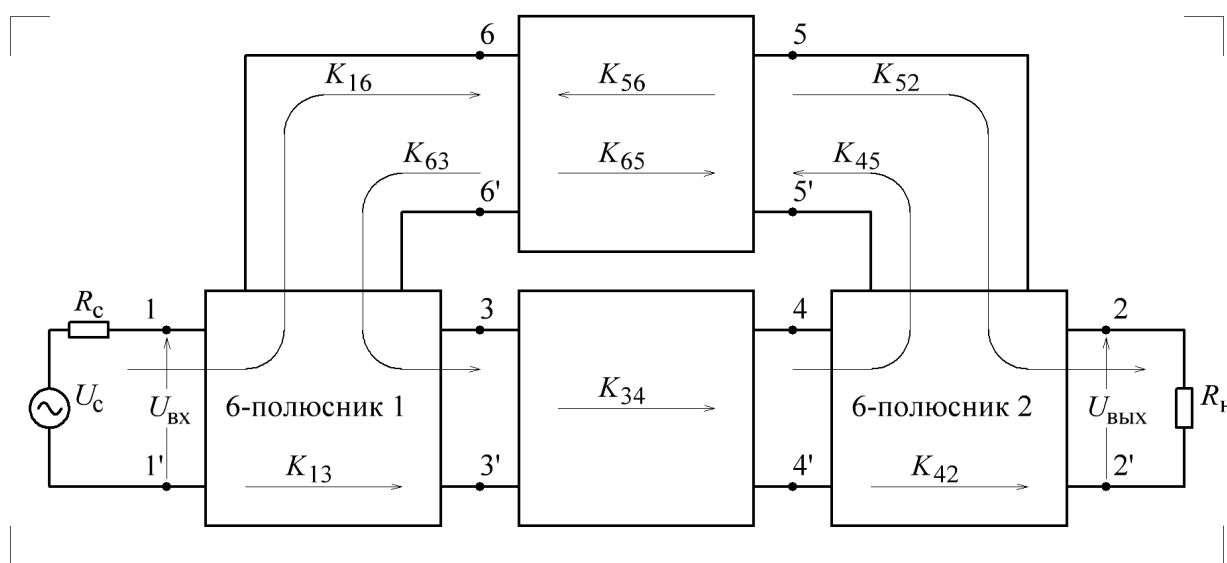


Рис. 5

Помимо усилительного тракта и цепи ОС на схеме имеются два 6-полюсника обеспечивающие передачу части мощности с выхода усилителя в цепь ОС (6-полюсник 2) и смешивание мощности входного сигнала с частью мощности выходного сигнала, переданной на вход цепью ОС (6-полюсник 1).

На схеме направления передачи мощности условно показаны стрелками.

В отличие от усилительного тракта цепь ОС строится обычно из пассивных элементов, и свойством однонаправленной передачи не обладает.

Поэтому коэффициент передачи сигнала состоит из двух частей – непосредственного проникновения сигнала от источника в нагрузку через цепь обратной связи $k_{12}(jf) = K_{16}(jf)K_{65}(jf)K_{52}(jf)$ и прохождения его через основной усилительный тракт с учетом охвата его цепью обратной связи

$$K_{12F}(jf) = \frac{K_{12}(jf)}{1 - T(jf)} + k_{12}(jf) ,$$

где

$$K_{12}(jf) = K_{13}(jf)K_{34}(jf)K_{42}(jf)$$

и

$$T(jf) = K_{56}(jf)K_{63}(jf)K_{34}(jf)K_{45}(jf) ,$$

вычисляемые при определенных условиях.

6-полюсники 1 и 2 чаще всего являются пассивными цепями и зачастую имеют весьма простой вид (рис. 6).

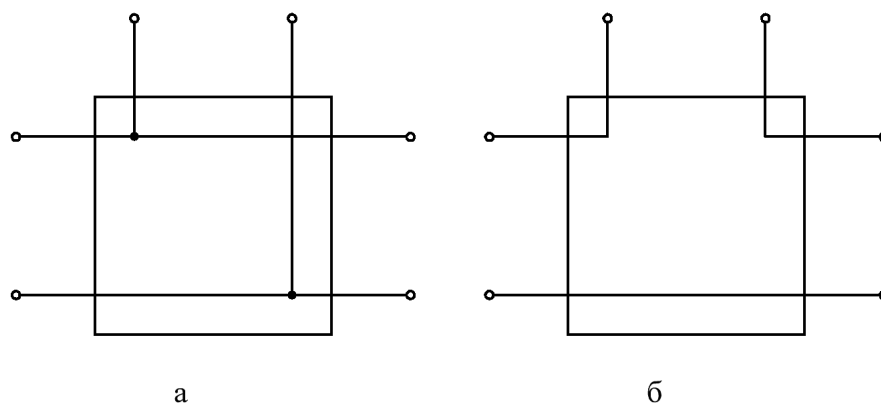


Рис. 6

В первом случае обратная связь называется параллельной или обратной связью по напряжению, а во втором – последовательной или обратной связью по току.

Кроме того, в электрических схемах, как правило, выделяется узел, общий для всех блоков схемы, потенциал которого принимается за нулевой. Тогда схема с обратной связью представляется, как показано на рис. 7.

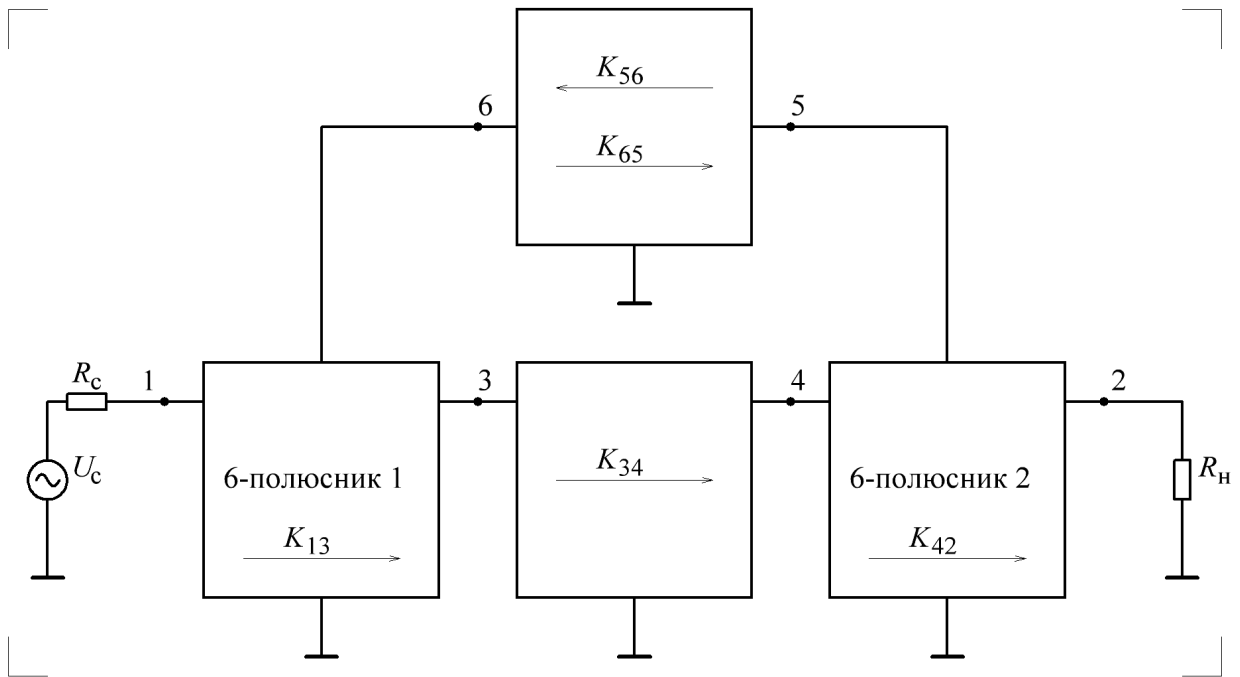


Рис. 7

Частные случаи 6-полюсников и цепи обратной связи для схемы рис. 7 представлены на рис. 8.

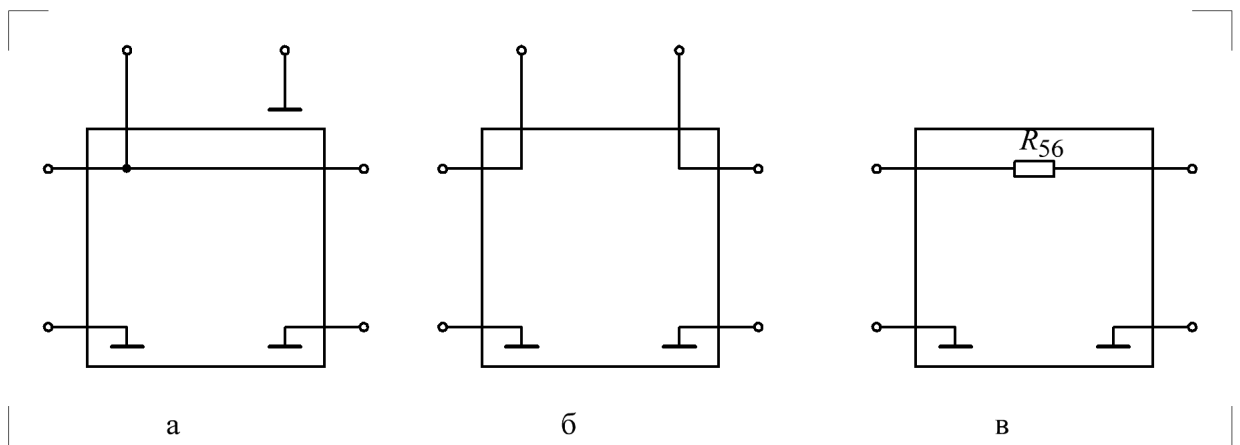


Рис. 8

На рис. 9 приведен частный случай каскада охваченного, параллельной обратной связью по входу и выходу через резистивный 2-полюсник.

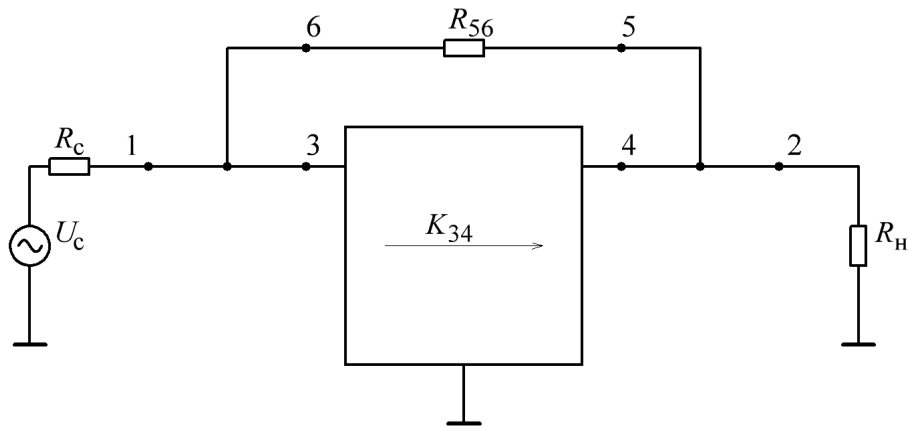


Рис. 9

Рассмотренные ранее схемы включения транзисторов $OЭ_F$, $OБ_F$, $OК_F$ являются схемами с внутрикаскадной обратной связью, что можно показать, изобразив включение 2-полюсника R_F в цепь обратной связи.

Рассмотрим, например, схему $OЭ_F$, изображенную на рис. 10а.

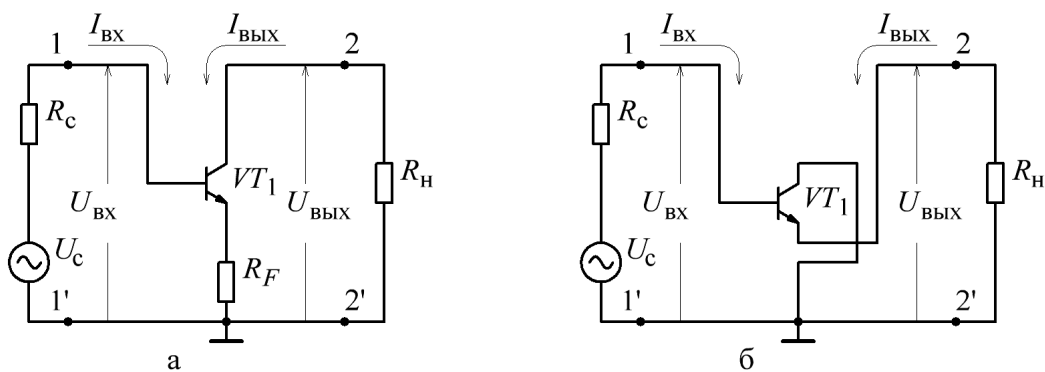


Рис. 10

На рис. 11 эта схема изображена в виде основного усилительного звена на транзисторе и цепи обратной связи. Легко проследить, что схемы электрически идентичны.

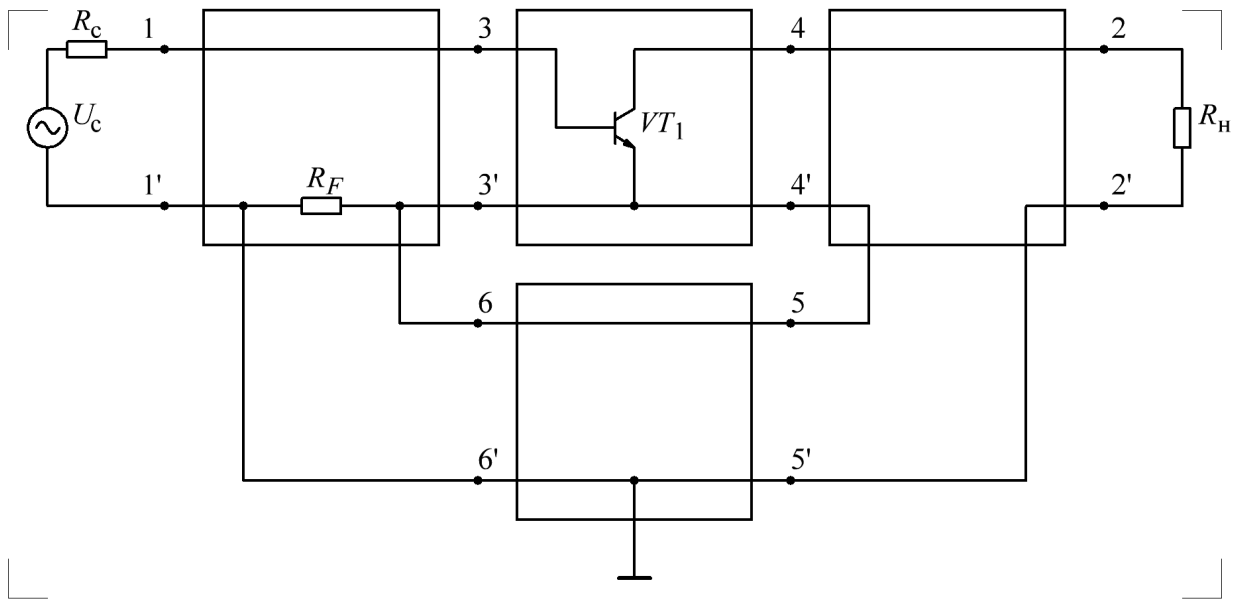


Рис. 11

На рис. 12 показан иной вариант данной схемы.

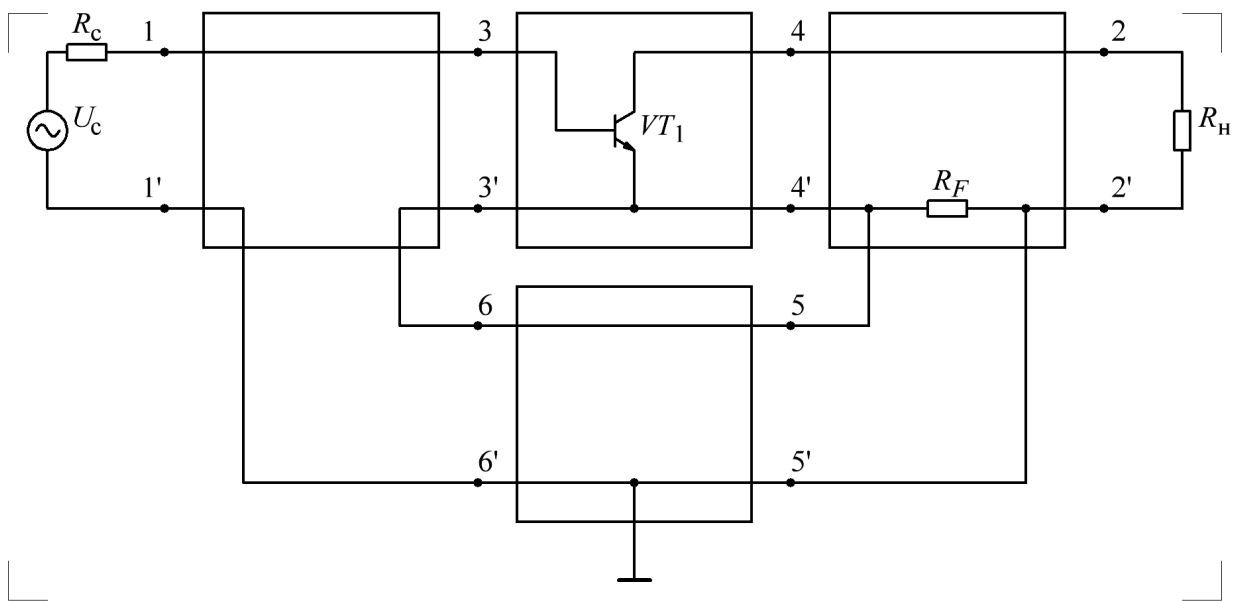


Рис. 12

Аналогичным образом можно показать, что схема ОК, эквивалентная схема которой приведена на рис. 10б, является схемой ОЭ, охваченной обратной связью (рис. 13).

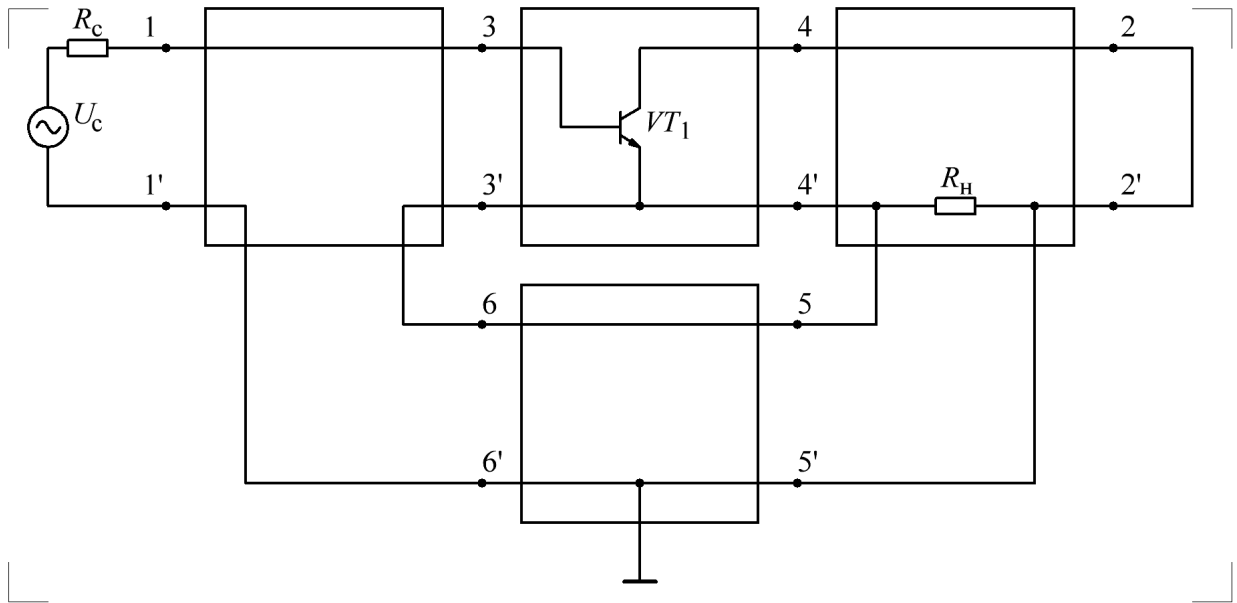


Рис. 13

Этим, кстати, объясняются уникальные свойства данного включения транзистора. Как видно из рисунка напряжение обратной связи снимается с резистора нагрузки, что в явном виде иллюстрируется схемой на рис. 14.

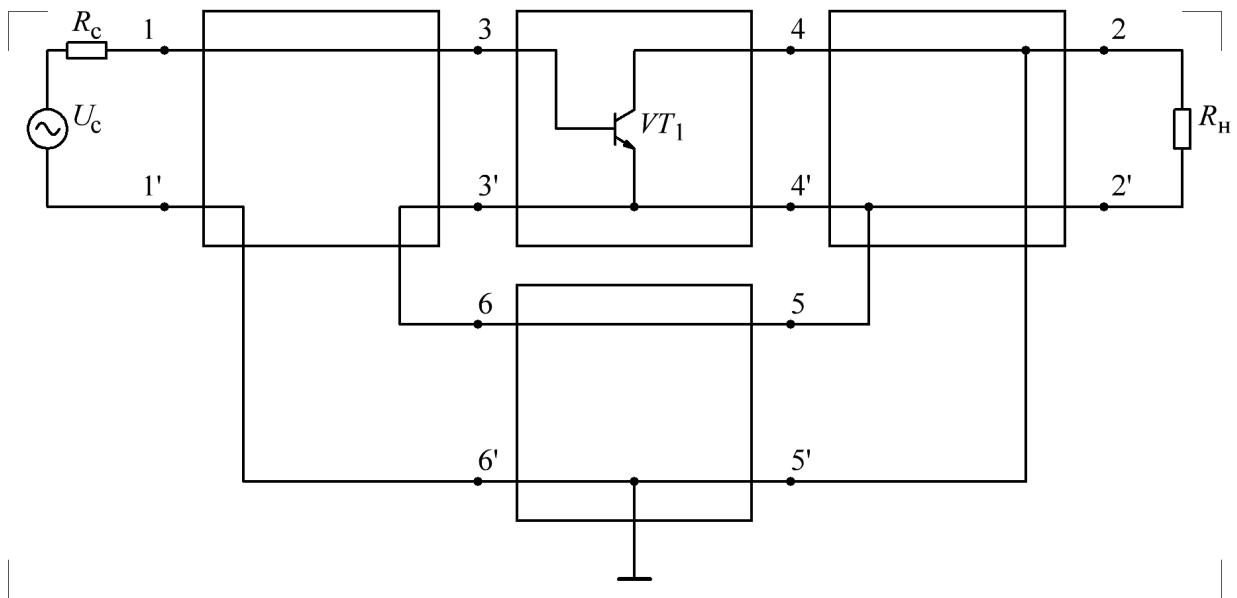


Рис. 14

В терминологии рис. 6 в этой схеме реализована последовательная обратная связь по входу и параллельная по выходу.

Интересен факт, что и схема ОБ, изображенная на рис. 15, также может трактоваться как схема ОЭ с глубокой обратной связью, что иллюстрируется рис. 16.

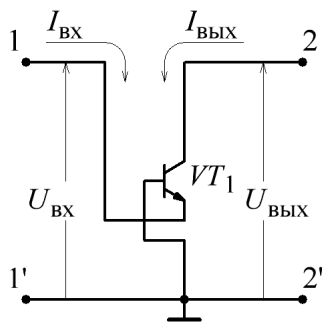


Рис. 15

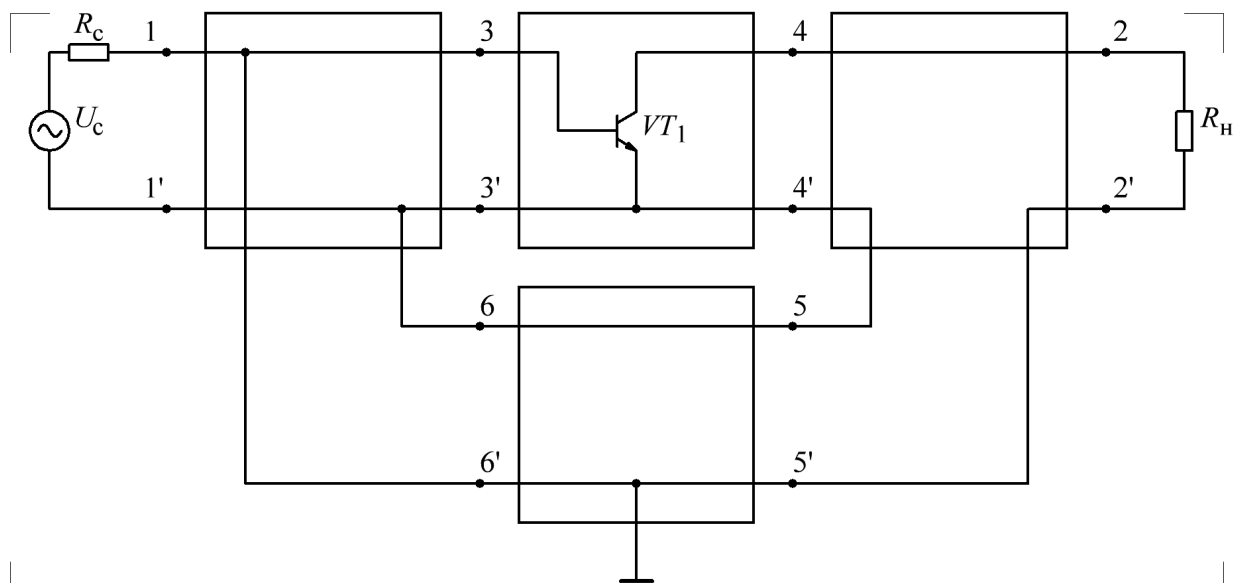


Рис. 16

В данном случае каскад ОЭ охвачен глубокой обратной связью параллельной по входу и последовательной по выходу.

Таким образом, можно констатировать, что усилительной схемой "в чистом виде" является только включение ОЭ. Схемы ОК и ОБ являются усилительными каскадами ОЭ с глубокой внутрикаскадной обратной связью. Поэтому последние обладают меньшими коэффициентами усиления по мощности и отличаются от схемы ОЭ по входным и выходным импедансам.