

Влияние ООС на параметры усилительного тракта

Выясним, каким образом замыкание петли обратной связи влияет на параметры усилительного тракта. Рассмотрим структурную схему тракта с однопетлевой обратной связью. Параметры усилительного тракта при разорванной петле обратной связи (рис. 1а) назовем исходными.

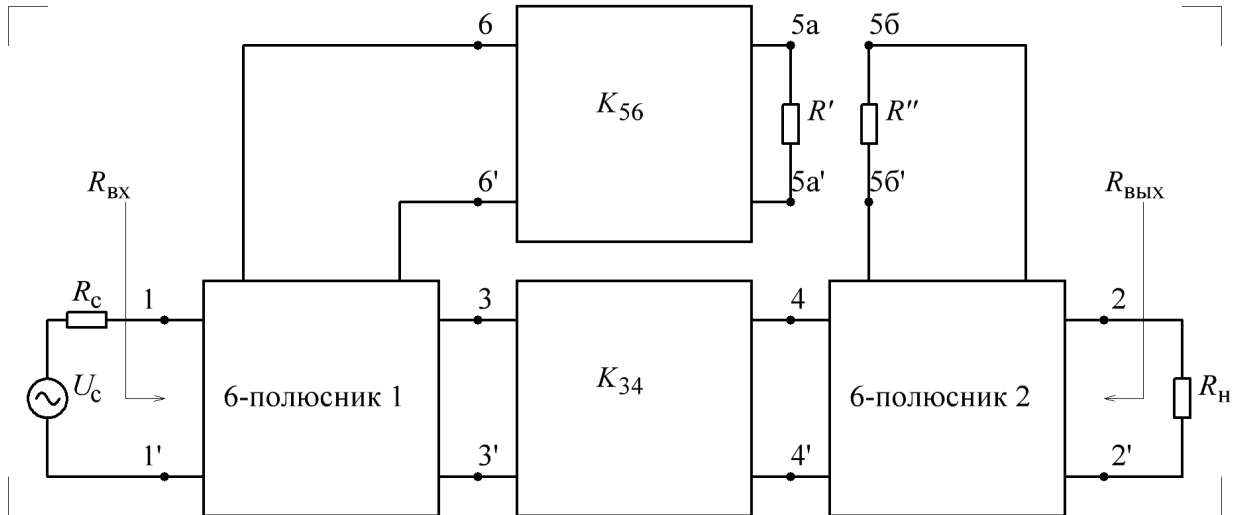


Рис. 1

Будем интересоваться коэффициентами усиления по напряжению и току, K , K_i , вычисленными при условии $R_c=0$ и $R_c=\infty$, входным и выходным сопротивлениями $R_{ВХ}$, $R_{ВЫХ}$, а также сквозным коэффициентом усиления по напряжению $K_{СКВ}$ при условии $R_c \neq 0$. Те же параметры, вычисленные в условиях замкнутой обратной связи, будем обозначать K_F , K_{iF} , $R_{ВХF}$, $R_{ВЫХF}$, $K_{СКВF}$.

Найдем K_{12F} при условии, что ко входу подключен источник ЭДС.

$$U_4 = U_c K_{13} K_{34} + U_4 K_{45} K_{56} K_{63} K_{34},$$

$$U_4 (1 - K_{45} K_{56} K_{63} K_{34}) = U_c K_{13} K_{34}.$$

Произведение $K_{45} K_{56} K_{63} K_{34}$ есть петлевая передача при замкнутых входных зажимах $T_{ВХ}(0)$ (на входе идеальный источник ЭДС). Тогда

$$U_4 = \frac{U_c K_{13} K_{34}}{1 - T_{ВХ}(0)},$$

а выходной сигнал

$$U_2 = U_4 K_{42} = \frac{U_c K_{13} K_{34} K_{42}}{1 - T_{ВХ}(0)} = \frac{U_c K_{12}}{1 - T_{ВХ}(0)}.$$

Тогда коэффициент усиления схемы, охваченной обратной связью

$$K_{12F} = \frac{U_2}{U_c} = \frac{K_{12}}{1 - T_{\text{ВХ}}(0)} .$$

Как и следовало ожидать, по отношению к передаче напряжения формула аналогична той, что получена для системы с обратной связью общего вида. Это следствие того, что усилитель обладает свойством однонаправленной передачи. Однако пассивная цепь обратной связи таким свойством не обладает. Поэтому полученную формулу следует дополнить слагаемым, учитывающим прямую передачу сигнала от источника к нагрузке через цепь обратной связи:

$$K_{12F} = \frac{U_2}{U_c} = \frac{K_{12}}{1 - T_{\text{ВХ}}(0)} + k_{12} .$$

В практически интересных случаях коэффициент прямого прохождения сигнала по цепи обратной связи k_{12} оказывается небольшим и им можно пренебречь.

Аналогичным образом при работе от источника с конечным выходным сопротивлением получаем

$$K_{12F_{\text{СКВ}}} = \frac{U_2}{U_c} = \frac{K_{12_{\text{СКВ}}}}{1 - T_{\text{ВХ}}(R_c)} + k_{12_{\text{СКВ}}} .$$

Можно показать также, что для коэффициента усиления по току справедливо соотношение

$$K_{12iF} = \frac{K_{12i}}{1 - T_{\text{ВХ}}(\infty)} + k_{12i} ,$$

где петлевая передача вычисляется при разомкнутых входных зажимах.

Найдем входное и выходное сопротивления схемы с обратной связью.

В большинстве случаев, интересных с практической точки зрения, можно полагать, что $k_{12i_{\text{СКВ}}} = 0$. Тогда

$$K_{12iF} = \frac{K_{12i}}{1 - T_{\text{ВХ}}(\infty)} . \quad (1)$$

При подключении ко входу источника тока на входных зажимах реализуется напряжение $U_1 = I_c R_{\text{ВХ}F}$, а на нагрузке $U_2 = I_2 R_{\text{Н}}$. Взяв отношение токов I_2/I_c получим коэффициент усиления по току

$$K_{12iF} = \frac{U_2}{U_1} \frac{R_{\text{ВХ}F}}{R_{\text{Н}}} = K_{12F} \frac{R_{\text{ВХ}F}}{R_{\text{Н}}} . \quad (2)$$

Аналогично при разомкнутой обратной связи

$$K_{12i} = K_{12} \frac{R_{\text{ВХ}}}{R_{\text{Н}}} . \quad (3)$$

Подставляем (3) в (1), а затем (1) в (2), получаем

$$K_{12} \frac{R_{\text{ВХ}}}{R_{\text{Н}}} \frac{1}{1 - T_{\text{ВХ}}(\infty)} = K_{12F} \frac{R_{\text{ВХ}F}}{R_{\text{Н}}} .$$

Теперь в правую часть этого равенства подставим

$$K_{12F} = \frac{K_{12}}{1 - T_{\text{ВХ}}(0)} .$$

Окончательно получаем

$$R_{\text{ВХ}F} = R_{\text{ВХ}} \frac{1 - T_{\text{ВХ}}(0)}{1 - T_{\text{ВХ}}(\infty)} .$$

Поскольку входными зажимами можно считать любые две точки схемы, то для выходного сопротивления можно записать

$$R_{\text{ВЫХ}F} = R_{\text{ВЫХ}} \frac{1 - T_{\text{ВЫХ}}(0)}{1 - T_{\text{ВЫХ}}(\infty)} .$$

Заметим, что две последние формулы могут быть применены по отношению к любой паре зажимов, поскольку любую пару можно считать входной или выходной.

В любом случае требуется вычисление коэффициента петлевой передачи. К сожалению, аналитический расчет даже для простейших транзисторных схем может оказаться громоздким. Поэтому для анализа схем с обратными связями широко применяются машинные методы расчета, которые к тому же позволяют учесть внутритранзисторную обратную связь.